

Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank

Project	Vlaamse Baaïen – Monitoring “Broersbank”
Dossiernr	214.341
Title	Vergelijkende modellering
Document nr.	214.341_R06
Auteur	Homayoon Komijani – KU Leuven Hana Ortega – KU Leuven Qinghui Zhang – KU Leuven
Goedgekeurd	Jaak Monbaliu – KU Leuven
Date	16/09/2016

INHOUD

LIJST FIGUREN	3
LIJST TABELLEN.....	9
1 INLEIDING.....	10
1.1 OPZET.....	10
1.2 TE SIMULEREN PERIODE	13
2 STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS.....	13
3 GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN KWALITEITSINDICATOREN	14
3.1 DEFINITIE GEBRUIKTE GOLFPARAMETERS	14
3.2 STATISTISCHE PARAMETERS VOOR DE VERGELIJKING VAN MODELRESULTATEN EN METINGEN.....	14
3.3 KWALITEITSINDICATOREN VOOR DE OPVOLGING VAN DE MODELRESULTATEN	15
3.3.1 <i>QI-indicator</i>	15
3.3.2 <i>S-Score</i>	16
4 RESULTATEN EN INDICATOREN	17
4.1 BESCHRIJVING RESULTATEN	17
4.2 FIGUREN.....	18
5 DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN.....	39
5.1 DISCUSSIE	39
5.2 AANBEVELINGEN VOOR VERDER ONDERZOEK.....	39
6 REFERENTIELIJST	41
ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-SCORE)	42
<i>S-score implementatie</i>	42
ANNEX 2. RESULTATEN	43
REFERENCE TO THIS REPORT:	137

Figuur 1 Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).	12
Figuur 2 De kwaliteitsindicator voor H_m0 en T_m02 berekend voor elk van de 4 stormperiodes, elk van de 3 maanden en voor de 3 maanden simulatie.	18
Figuur 3 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	19
Figuur 4 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	20
Figuur 5 Evolutie van de golfspectra tijdens de Sinterklaasstorm december 2013 op locatie BRB2DB.....	21
Figuur 6 Plot statistische parameters H_m0 en T_m02 voor de Sinterklaasstorm in december 2013 en dit voor alle boeien.	23
Figuur 7 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.	24
Figuur 8 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.	25
Figuur 9 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB.....	26
Figuur 10 Plot statistische parameters H_m0 en T_m02 voor de storm van juli 2014 en dit voor alle boeien.	28
Figuur 11 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	29
Figuur 12 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	30
Figuur 13 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB.....	31
Figuur 14 Plot statistische parameters H_m0 en T_m02 voor de storm van november 2015 en dit voor alle boeien.	33
Figuur 15 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	34
Figuur 16 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	35
Figuur 17 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB.	36
Figuur 18 Plot statistische parameters H_m0 en T_m02 voor de storm van januari 2016 en dit voor alle boeien.....	38

Lijst Figuren

Figuur 1 Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).	12
Figuur 2 De kwaliteitsindicator voor H_m0 en T_m02 berekend voor elk van de 4 stormperiodes, elk van de 3 maanden en voor de 3 maanden simulatie.	18
Figuur 3 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	19

Figuur 4 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	20
Figuur 5 Evolutie van de golfspectra tijdens de Sinterklaasstorm december 2013 op locatie BRB2DB.....	21
Figuur 6 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de Sinterklaasstorm in december 2013 en dit voor alle boeien.	23
Figuur 7 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.	24
Figuur 8 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.	25
Figuur 9 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB.....	26
Figuur 10 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van juli 2014 en dit voor alle boeien.	28
Figuur 11 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	29
Figuur 12 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	30
Figuur 13 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB.....	31
Figuur 14 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van november 2015 en dit voor alle boeien.	33
Figuur 15 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	34
Figuur 16 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	35
Figuur 17 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB.	36
Figuur 18 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van januari 2016 en dit voor alle boeien.	38

Figuur 0.1 Voorbeeld ter illustratie van de methodologie om de S-score te berekenen.	42
Figuur 0.1 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	43
Figuur 0.2 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	44
Figuur 0.3 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	45
Figuur 0.4 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	46
Figuur 0.5 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	47
Figuur 0.6 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	48
Figuur 0.7 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	49
Figuur 0.8 De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.	50
Figuur 0.9 De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.....	51
Figuur 0.10 De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.....	52
Figuur 0.11 De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.....	53
Figuur 0.12 De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.....	54
Figuur 0.13 De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.....	55
Figuur 0.14 De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.....	56
Figuur 0.15 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor december 2013 en dit voor alle boeien.....	57
Figuur 0.16 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	58
Figuur 0.17 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	59
Figuur 0.18 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	60
Figuur 0.19 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	61
Figuur 0.20 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	62
Figuur 0.21 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	63
Figuur 0.22 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	64

Figuur 0.23 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	65
Figuur 0.24 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	66
Figuur 0.25 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	67
Figuur 0.26 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	68
Figuur 0.27 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	69
Figuur 0.28 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	70
Figuur 0.29 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	71
Figuur 0.30 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	72
Figuur 0.31De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.....	73
Figuur 0.32De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.....	74
Figuur 0.33 De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.....	75
Figuur 0.34De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.....	76
Figuur 0.35De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.....	77
Figuur 0.36De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.....	78
Figuur 0.37De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.....	79
Figuur 0.38Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor juli 2014 en dit voor alle boeien.	80
Figuur 0.39 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	81
Figuur 0.40 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	82
Figuur 0.41Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	83
Figuur 0.42 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	84
Figuur 0.43 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	85
Figuur 0.44 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	86

Figuur 0.45 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	87
Figuur 0.46 The statistical parameters for the storm of Nov. 2015 for Hm0 and Tm02 and for all the stations.	88
Figuur 0.47 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	89
Figuur 0.48 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	90
Figuur 0.49 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	91
Figuur 0.50 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	92
Figuur 0.51 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	93
Figuur 0.52 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	94
Figuur 0.53 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	95
Figuur 0.54De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.....	96
Figuur 0.55 De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.....	97
Figuur 0.56De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.....	98
Figuur 0.57De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.....	99
Figuur 0.58De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.....	100
Figuur 0.59De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.....	101
Figuur 0.60De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.....	102
Figuur 0.61Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor november 2015 en dit voor alle boeien.....	103
Figuur 0.62 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	104
Figuur 0.63 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	105
Figuur 0.64 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	106
Figuur 0.65 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	107
Figuur 0.66 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	108
Figuur 0.67 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	109

Figuur 0.68 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	110
Figuur 0.69 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van 21-23 november 2015 en dit voor alle boeien.	111
Figuur 0.70 Geïntegreerde golfparameters voor januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	112
Figuur 0.71 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	113
Figuur 0.72 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	114
Figuur 0.73 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	115
Figuur 0.74 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	116
Figuur 0.75 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	117
Figuur 0.76 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	118
Figuur 0.77De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.....	119
Figuur 0.78De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.....	120
Figuur 0.79De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.....	121
Figuur 0.80De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.....	122
Figuur 0.81De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.....	123
Figuur 0.82De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.....	124
Figuur 0.83De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.....	125
Figuur 0.84 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor januari 2016 en dit voor alle boeien.	126
Figuur 0.85 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	127
Figuur 0.86 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	128
Figuur 0.87 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	129
Figuur 0.88 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	130
Figuur 0.89 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	131

Figuur 0.90 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	132
Figuur 0.91 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.....	133
Figuur 0.92 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van 14-16 januari 2016 en dit voor alle boeien.	134
Figuur 0.93 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de periode november 2015-januari 2016 en dit voor alle boeien.	135
Figuur 0.94 De kwaliteitsindicator voor Hm0 en Tm02 berekend voor elk elk van de 3 maanden, elk van de 4 stormperiodes alsook die voor de 3 maanden simulatie.....	136

Lijst Tabellen

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte van de boeien en modellering diepte van verschillende model implementaties.	12
Tabel 2. Details van de geselecteerde stormperiodes voor de vergelijking van de modelresultaten.....	13
Tabel 3. Overzicht van de in dit rapport gebruikte modelconfiguraties.....	13
Tabel 4. Statistische parameter waarden voor de Sinterklaasstorm en voor de volledige maand december 2013 voor alle boeien.....	22
Tabel 5. Statistische parameter waarden voor de storm en voor de volledige maand juli 2014 voor alle boeien.....	27
Tabel 6. Statistische parameter waarden voor de storm en voor de volledige maand november 2015 voor alle boeien.	32
Tabel 7. Statistische parameter waarden voor de storm en voor de volledige maand januari 2016 voor alle boeien.	37

1 INLEIDING

1.1 Opzet

Het “Vlaamse Baaien” plan van de Vlaamse Overheid wil een kader bieden om onze kuststrook ook in de toekomst te beschermen en duurzaam te ontwikkelen. Het aanleggen van kustmatige eilanden of het verhogen van bestaande zandbanken is een mogelijke manier om de energie van de golven te absorberen en dus om onze kust te beschermen. Het project 214.341 “Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank” is een vervolgproject op het project 212.276 “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank”. De doelstelling van het project “Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank” was om de voortplanting, dissipatie en aangroei van golfenergie dat zich van offshore over een aantal zandbanken naar onze kust toe beweegt, te bestuderen enerzijds via metingen, anderzijds via numerieke modellering met behulp van een spectraal golfmodel weliswaar gekoppeld aan een hydrodynamisch model om de veranderende waterstanden mee te kunnen nemen in de modellering. Voor dat project werd gebruik gemaakt van de modellen WAM, SWAN en COHERENS.

Begrijpen waar er mogelijke tekortkomingen zijn in de modellering van de golfdissipatie over zandbanken en die mogelijks verhelpen door verder onderzoek, zal toelaten om de effecten van de natuurlijke evolutie of van mogelijke ingrepen beter in te schatten. Wat betreft metingen zijn er eind november 2013 vijf golfboeien (2 directionele en 3 niet directionele) uitgelegd. De boeien zijn zo gepositioneerd dat ze een goed beeld kunnen geven van het verloop van de voortplanting en de dissipatie van de energie over de verschillende zandbanken voor onze kust. Deze boeien zijn begin april 2016 uit dienst genomen. Uit het voorgaande project is ook gebleken dat er nog ruimte is voor verbetering van de modelresultaten. Eén van de pistes is het gebruik van een andere modellentrein met name de combinatie van TELEMAC (model voor hydrodynamica) en TOMAWAC (spectraal golfmodel). Dit rapport heeft betrekking op het concept dat gebruikt wordt voor de koppeling TELEMAC-TOMAWAC voor het kuststrookmodel.

In twee vorige rapporten met name de rapporten 214.341_R01 en 214.341_R02 werden respectievelijk de implementatie van het hydrodynamisch model TELEMAC-2D en van het spectraal golfmodel TOMAWAC op een grid voor de Noordzee beschreven. Voor de berekeningen van het spectraal golfmodel TOMAWAC werden de stromingen en de waterstanden offline ingelezen berekend met het hydrodynamisch model. Terugkoppeling van het effect van golven op de hydrodynamische modellering werd niet geactiveerd. Golfgeïnduceerde stromingen en opzet werden dus niet mee in rekening gebracht. In rapport 214.341_R03 werd de uitwerking van het kuststrookmodel (BCG - Belgian Coastal Grid) beschreven. Ook daar werkten het hydrodynamisch kuststrookmodel (TELEMAC-2D) en het spectraal golfkuststrookmodel (TOMAWAC) nog elk apart. Beide kuststrookmodellen werden aangedreven door randvoorwaarden bekomen uit de berekeningen met hun respectievelijke Noordzeemodellen.

In rapport 214.341_R04 werd de dynamische (online) koppeling tussen TELEMAC-2D en TOMAWAC voor de Noordzee beschreven, met inbegrip dus van een terugkoppeling van golfmodelresultaten naar het hydrodynamisch model. Rekening houdend met de relatieve grove resolutie van dit model, lag het binnen de verwachting dat het verschil in rekenresultaten tussen de offline en de online koppeling vrij beperkt zou blijven, wat ook effectief het geval was. Het onderliggend idee om te werken met een fijnmazig kuststrookmodel was om de complexe bathymetrie met de daarmee gepaard gaande complexere patronen in de stroming en in de golfvoortplanting en dus

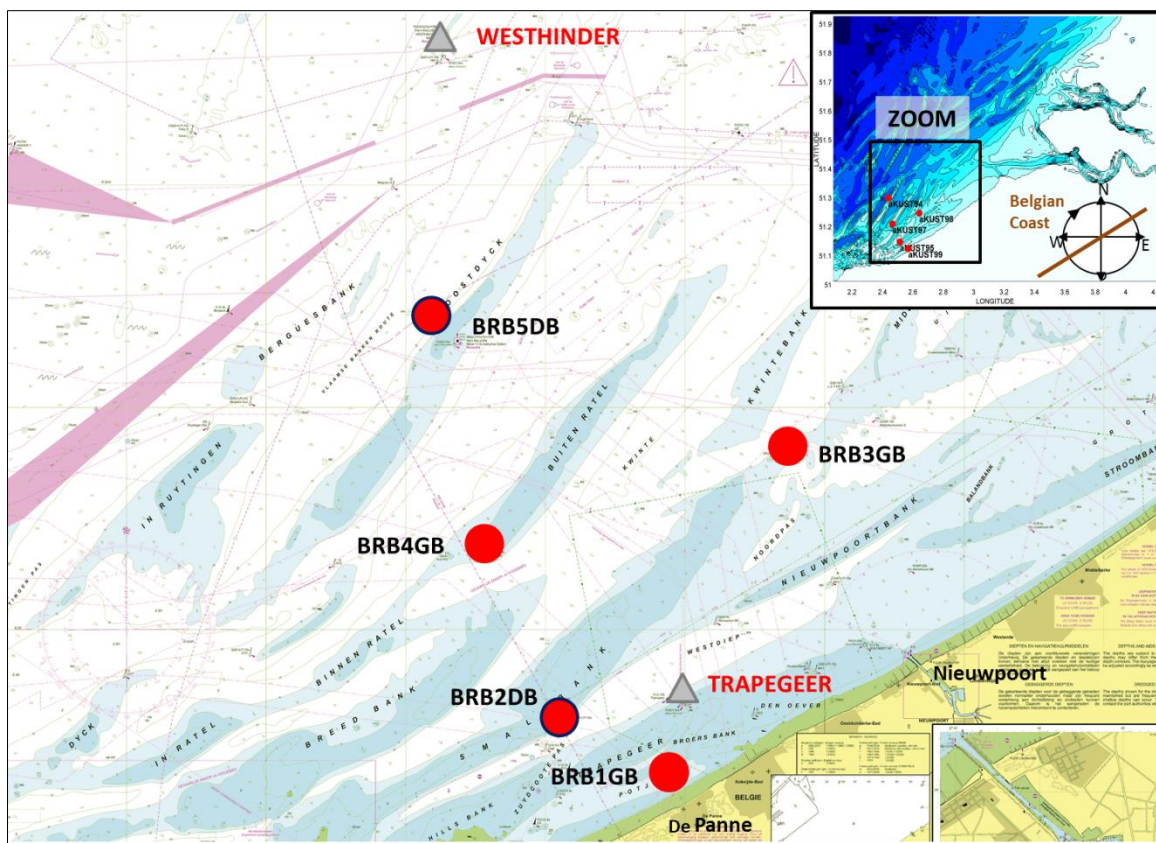
ook in de dissipatie van golfenergie beter te kunnen simuleren. Het wordt op die manier ook makkelijker om de vergelijking te maken met het SWAN-COHERENS kuststrookmodel.

In rapport 214.341_R05 werden de resultaten besproken van de numerieke simulaties van het online gekoppelde TELEMAC-2D en TOMAWAC kuststrookmodel. Beide modellen waren zoals aangehaald genest in een online gekoppeld groter model voor de Noordzee (NSG - North Sea Grid). Dit wil zeggen dat de randvoorwaarden voor het kuststrookmodel berekend worden in het Noordzee model. De resultaten die daar bekomen werden, werden ook vergeleken met de resultaten berekend met het SWAN-COHERENS kuststrookmodel (met settings CW50) in het kader van project 212.276 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank). Voor de simulaties in dat rapport, beperkten we ons tot de Sinterklaas storm rond 6 december 2013 in lijn met de vorige rapporten.

In dit rapport wordt de vergelijking breder open getrokken. Er worden enkele bijkomende stormen en ook een langere aaneensluitende periode in meer detail geanalyseerd. Daarbij worden de resultaten getoond van zowel het TELEMAC-TOMAWAC Noordzee model version 7p1r1 (NSG - North Sea Grid, zie rapport 214.341_R04) en kuststrookmodel (BCG – Belgain Coasta Grid, zie rapport 214.341_R05) als de resultaten van het SWAN-Coherens kuststrookmodel (settings CW50 – WAM randvoorwaarden en een waarde van 0.067 voor de JONSWAP wrijvingsparameter, zie Rapport 212.176-R06).

Er werden 4 stormen geselecteerd, met name een storm in december 2013 (Sinterklaasstorm), een storm in juli 2014, een storm in november 2015 en een storm in januari 2016. Voor de aaneensluitende periode van 3 maanden werd geopteerd voor de periode november 2015-januari 2016 zodat ook de performantie van de modellen over een langere periode en niet enkel voor enkele korte stormperiodes kan vergeleken worden. Als aanvulling werden ook de volledige maanden december 2013 en juli 2014 (de maanden waarin de twee eerste stormen die hier werden geselecteerd) doorgerekend.

Voor de simulaties werden (zoals vermeld in de rapporten 214.341_R04 en 214.341_R05) de ERA-Interim windvelden gebruikt. Merk op dat voor het SWAN-COHERENS een extra calibratiefactor van 1.06 werd gebruikt voor de windsnelheden en dat dit niet werd gebruikt in het TELEMAC-TOMAWAC model.



Figuur 1 Locatie van de vijf boeien (rode cirkels).

De modelresultaten worden vergeleken met de meetgegevens verkregen op de 7 locaties, zie Figuur 1. De coördinaten en de diepte voor elke locatie kan men terugvinden in Tabel 1. In die tabel worden dus per station 4 dieptes gegeven: de diepte zoals ingepeild bij het uitleggen van de boeien, en dan de 3 dieptes overeenkomend met de drie verschillende modelimplementaties.

LOCATIE	Breedtegraad	Lengtegraad	Diepte (m LAT)	Modellering Diepte (m LAT) in SWAN	Modellering Diepte (m LAT) in BCG	Modellering Diepte (m LAT) in NSG
WHI	51.3888	2.4483	25.9	21.9	14.9	26.9
BRB5DB	51.2847	2.4394	21.8	22.7	18.9	25.9
BRB3GB	51.2323	2.6413	8.0	10.7	9.9	9.9
BRB4GB	51.1950	2.4656	4.5	4.1	3.9	9.9
BRB2DB	51.1330	2.5145	14.4	10.8	9.9	8.9
BRB1GB	51.1100	2.5700	7.1	6.0	5.9	1.3
TRGGB1	51.1375	2.5830	3.4	4.0	3.9	6.9

Tabel 1. Benaming, locatie en diepte van de boeien en modellering diepte van verschillende model implementaties.

1.2 Te simuleren periode

De 4 geselecteerde stormperiodes worden gegeven in Tabel 2.

storm nr	jaar	maand	stormperiode
1	2013	Dec.	5 Dec 00:00 tot 8 Dec 00:00
2	2014	Jul.	8 Jul 00:00 tot 12 Jul 00:00
3	2015	Nov.	21 Nov 00:00 tot 22 Nov 12:00
4	2016	Jan.	14 Jan 10:00 tot 16 Jan 00:00

Tabel 2. Details van de geselecteerde stormperiodes voor de vergelijking van de modelresultaten.

Naast de bovenvermelde stormperiodes werden ook de maanden december 2013, juli 2014 en de periode van 3 maanden november 2015 tot en met januari 2016 doorgerekend.

2 STRUCTUUR VAN DE MODELLEN EN WEERHOUDEN SETTINGS

In alle figuren met modelresultaten worden altijd drie simulaties getoond. Enerzijds worden de TELEMAT-TOMAWAC NSG en BCG en anderzijds ook de SWAN-COHERENS resultaten getoond, zie in Tabel 3 voor verdere details.

Run Code	Main settings
NSG	TELEMAT-TOMAWAC online gekoppeld model voor de Noordzee (North Sea grid – NSG). Meer gedetailleerde info over deze modelconfiguratie is te vinden in Rapport 214.341_R04.
BCG	TELEMAT-TOMAWAC online gekoppeld model voor de Belgische kust (BCG) met randvoorwaarden afkomstig van de online gekoppelde TELEMAT-TOMAWAC model voor de Noordzee (NSG). Meer gedetailleerde info over deze modelconfiguratie is te vinden in Rapport 214.341_R05.
SWAN(CW50)	SWAN-COHERENS online gekoppeld model voor de Belgische kust met randvoorwaarden afkomstig van de online gekoppelde WAM model. Meer gedetailleerde info over deze modelconfiguratie is te vinden in Rapport 212.176-R06-20150515

Tabel 3. Overzicht van de in dit rapport gebruikte modelconfiguraties.

3 GOLFPARAMETERS, STATISTISCHE PARAMETERS EN

KWALITEITSINDICATOREN

3.1 Definitie gebruikte golfparameters

De golfparameters gebruikt in deze studie worden afgeleid uit het spectrum. Om onderstaande definities te begrijpen wordt eerst het begrip moment m_x van een energiespectrum gedefinieerd.

$$m_x = \int f^x E(f) df \quad ; [m]$$

$E(f)$ is daarbij de energie-inhoud van het spectrum (in m^2s) bij een bepaalde frequentie f .

Met deze definitie kunnen dan gemakkelijk andere parameters gedefinieerd worden.

$Hm0$: significante golfhoogte (H_s) gebaseerd op het nulmoment (m_0) van het energiespectrum.

$$Hm0 = 4\sqrt{m_0} \quad ; [m]$$

T_m is een gemiddelde periode gebaseerd op m_{-1} . Het is een vrij robuuste parameter voor de golfperiode omdat lagere frequenties zwaarder doorwegen.

$$T_m = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad ; [s]$$

T_{m1} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_1 .

$$T_{m1} = \frac{m_0}{m_1} \quad ; [s]$$

T_{m2} is een gemiddelde periode gebaseerd op m_2 . Deze periode wordt veel gebruikt omdat deze periode vrij goed overeenkomt met de zogenaamde 'zero upcrossing period', een periode die verkregen wordt bij tijdsanalyse van golfboesignalen.

$$T_{m2} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad ; [s]$$

3.2 Statistische parameters voor de vergelijking van modelresultaten en metingen

De volgende veel gebruikte statistische parameters werden weerhouden om modelresultaten en meetgegevens te vergelijken.

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - y_i)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad ; \text{Root mean square error.}$$

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i) \quad ; \text{ Bias.}$$

$$SI = \frac{RMSE}{|\bar{x}|} \quad ; \text{ Scatter index.}$$

$$CO = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} \right) \left(\frac{y_i - \bar{y}}{S_y} \right) \quad ; \text{ Correlatiecoëfficiënt.}$$

; S_x en S_y zijn de standaardafwijkingen.

Hierbij wordt met 'x' verwezen naar de boeidata en met 'y' naar de resultaten uit het model. Voor de BIAS parameter betekent dit dat een negatieve waarde wijst op een onderschatting en een positieve waarde tot een overschatting door het model t.o.v. de metingen.

Deze statistische parameters helpen ons om enerzijds het model te kalibreren (keuze model settings), anderzijds het model te valideren (opvolgen van de modelresultaten voor periodes niet betrokken in de validatie).

3.3 Kwaliteitsindicatoren voor de opvolging van de modelresultaten

3.3.1 QI-indicator

Een set van 'eenvoudige' indicators vastleggen om de kwaliteit van de resultaten van modellen te beoordelen is altijd een moeilijke evenwichtsoefening. Dergelijke set moet klein zijn om overzichtelijk te blijven enerzijds, maar moet toch nog voldoende omvattend zijn om een oordeel te kunnen vellen anderzijds. In overleg met de opdrachtgever werd in de vorige studie (project 212176 "Vlaamse baaien – Monitoring Broersbank") vastgelegd om met de onderstaande kwaliteitsindicatoren te werken:

- 3-maand gemiddelde SI van de Hsig op de locaties BRB1GB en TRGGB1.
- 3 maand gemiddelde SI van de periode Tm02 van de locaties BRB1GB en TRGGB1.

$$QI_{3maanden} = \frac{SI_{all\ cond_BRB1GB} + SI_{all\ cond_TRGGB1}}{2} \quad ; \text{ gemiddelde SI volledige maand.}$$

$$QI_{stormen} = \frac{(SI_{storm\ cond_BRB1GB} + SI_{storm\ cond_TRGGB1})}{2} \quad ; \text{ gemiddelde SI voor storm condities.}$$

3.3.2 S-Score

Tot op heden werden de modelvoorspellingen dus beoordeeld aan de hand van indicators die de overeenkomst tussen de gemeten en gemodelleerde golfparameters, bv. H_{m0} en T_{m02} , weergeven. Alhoewel de overeenkomst tussen de geobserveerde en voorspelde golfparameters goed kan zijn, wijken de gemeten en voorspelde golfspectra in sommige gevallen significant af. In deze omstandigheden zijn eenvoudige golfparameters alleen niet voldoende om de reeks golfcondities die kunnen voorkomen op een bepaalde plaats, te beschrijven (Dabbi *et al.*, 2015). Daarom werd een parameter ontwikkeld om de vorm van het gegenereerde frequentiespectrum te beoordelen; de Spectral Score Indicator of S-score. Deze parameter heeft als doel te meten hoe goed de vorm van het golfspectrum gereproduceerd wordt door de modellering. Zowel het gemodelleerde spectrum als het geobserveerde spectrum worden genormaliseerd, zodat de oppervlakte onder beide spectra 1 wordt. Daarnaast wordt hun frequentie-inhoud in n frequentiebanden onderverdeeld. Deze onderverdeling is identiek voor beide spectra. De S-score wordt dan gedefinieerd als:

$$S_{score} = \sum_1^n \min(S_{normalized, MODEL}, S_{normalized, OBSERVATION}) \Delta f_n$$

Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n -de frequentie in het energiespectrum.

De waarde van de S-score ligt tussen 0 en 1. Bij een perfecte overeenkomst krijgt men een waarde 1. De berekening van deze indicator wordt in detail besproken in ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score) en R04_20160718 in

4 RESULTATEN EN INDICATOREN

4.1 Beschrijving resultaten

De resultaten die hier zullen getoond worden omvatten vier stormen gesimuleerd met behulp van 3 modelconfiguraties. De modelconfiguraties zijn terug te vinden in Tabel 3 en de geselecteerde stormperiodes kan men vinden in Tabel 2. De modelresultaten worden getoond voor de 7 meetlocaties, zie Figuur 1 and Tabel 1 voor meer details. Volgende parameters zullen getoond worden:

- **Geïntegreerde parameters**

De parameters die in de verschillende plots getoond worden zijn de significante golfhoogte (H_{m0}) en gemiddelde periode T_{m02} , alsook de golfrichting. Deze parameters worden getoond voor elk van de 7 meetlocaties. Naast de plots voor de stormperiode zelf, werden ook plots gemaakt voor de volledige maand. In het hoofdrapport zelf worden slechts een beperkt aantal plots getoond. De andere plots zijn terug te vinden in appendix. Tevens wordt ook een plot gemaakt van de waterstand t.o.v. MSL.

- **Golfspectrum**

Naast de geïntegreerde parameters werd ook gekeken naar de gesimuleerde golfspectra. Plots met opeenvolgende golfspectra tonen de evolutie van de energiespectra gedurende een storm en dit voor de drie modelconfiguraties. In het hoofdrapport worden slechts enkele plots met spectra getoond. In appendix werden nog verschillende plots toegevoegd.

- **Statistische parameters en kwaliteitsindicatoren**

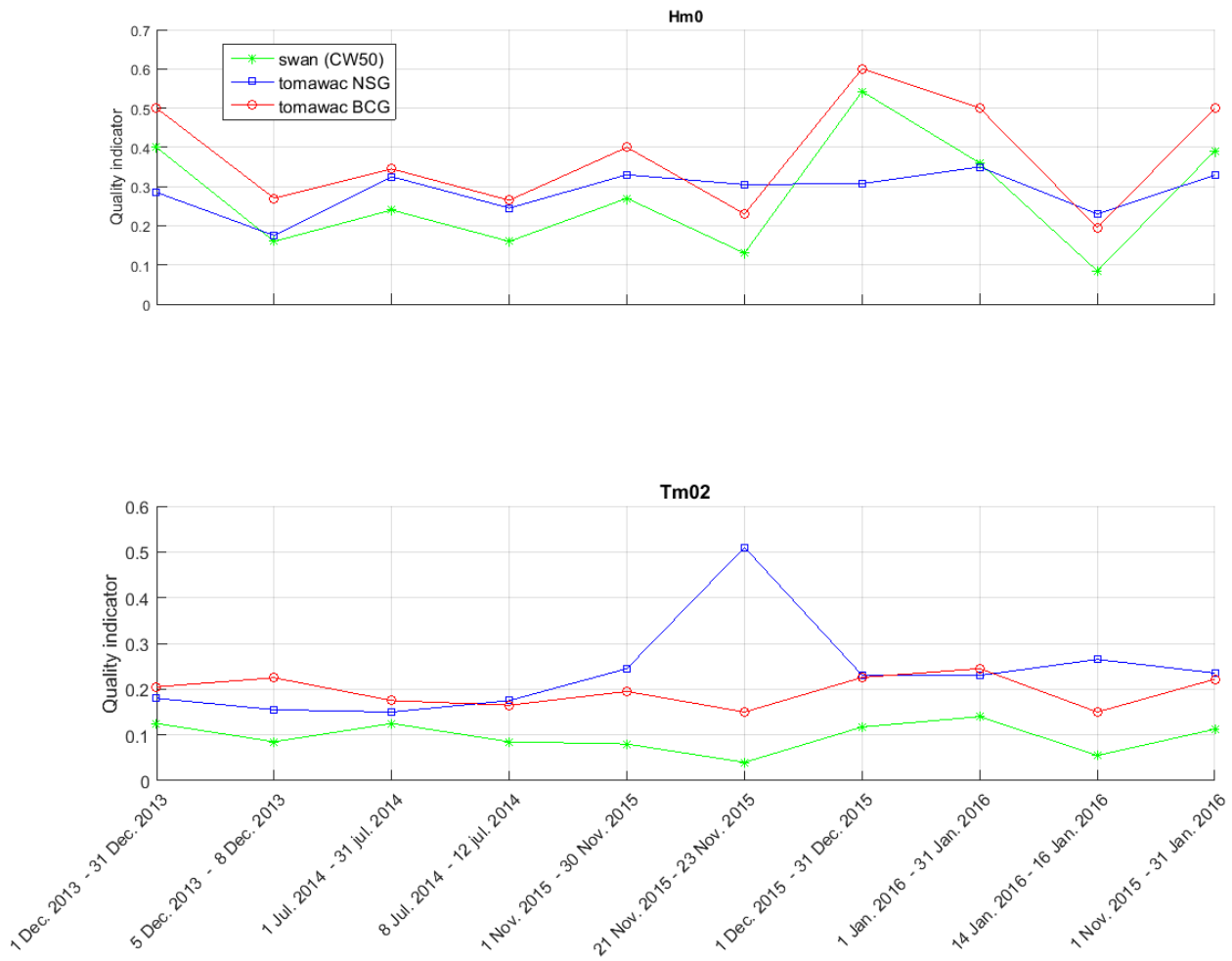
De verschillende statistische parameters werden berekend en samengevat in een tabel. Deze parameters werden berekend voor zowel de vier stormperiodes als voor de opeenvolgende drie maanden van november 2015 tot en met januari 2016. In dit hoofdrapport worden een aantal grafieken getoond, de rest is terug te vinden in appendix.

Om spectra vooral naar vorm onderling te kunnen vergelijken, werd de S-score (spectral score) parameter geïntroduceerd (zie sectie 3.3.2 and ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)). Voor elke locatie werd voor de volledige maande een s-score plot gemaakt. De plots hiervan zijn terug te vinden in appendix.

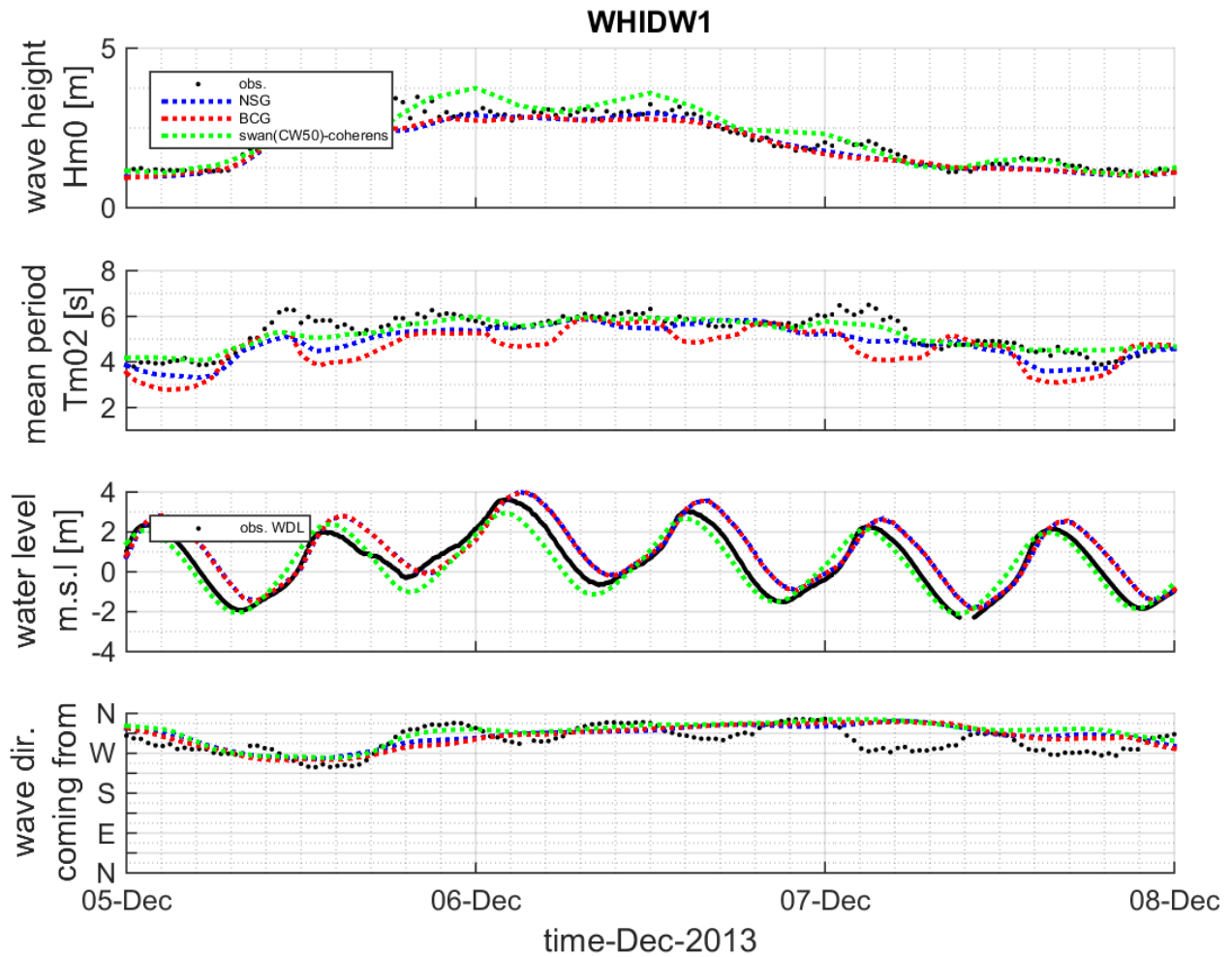
Ook werd er een soort kwaliteitsindicator (QI-indicator) berekend, zie sectie 3.3.1 voor meer details. Hieronder beginnen we met deze plot, gevolgd door de andere hierboven beschreven.

In sectie 4.2 worden enkel de figuren getoond maar worden dan besproken in sectie 5.1. Vanuit die bespreking worden dan een aantal aanbevelingen gegeven voor verder onderzoek in sectie 5.2

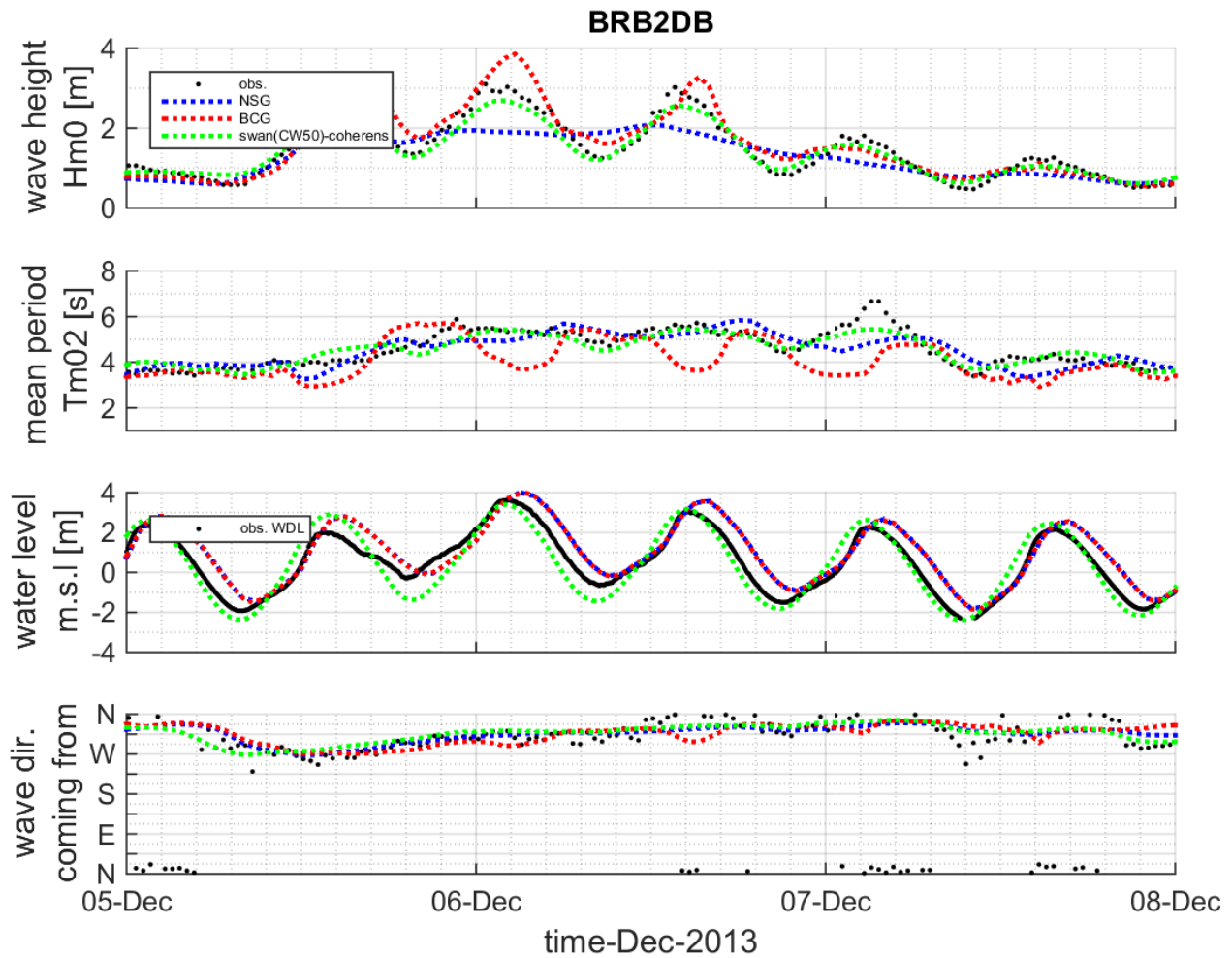
4.2 Figuren



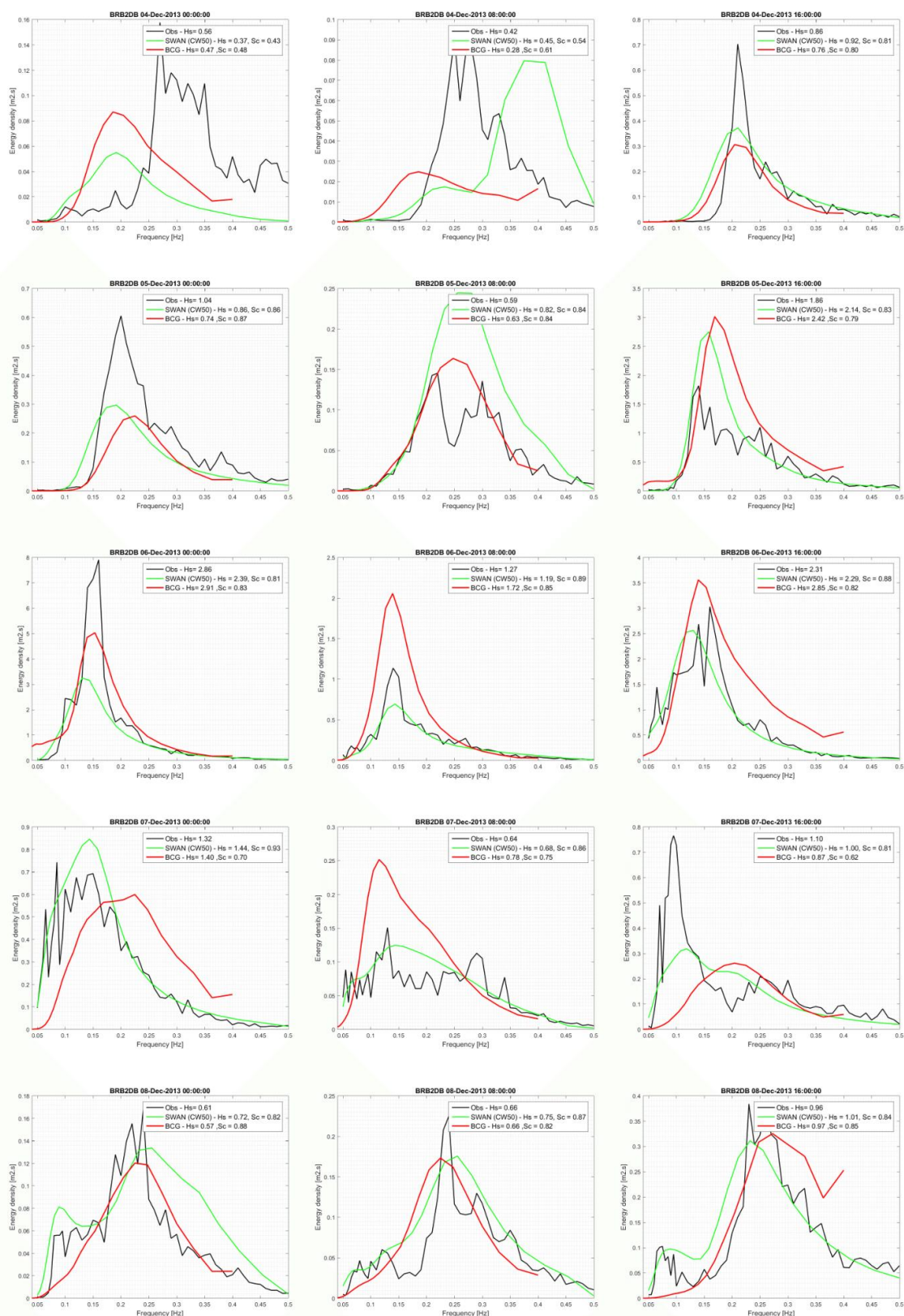
Figuur 2 De kwaliteitsindicator voor Hm0 en Tm02 berekend voor elk van de 4 stormperiodes, elk van de 3 maanden en voor de 3 maanden simulatie.



Figuur 3 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



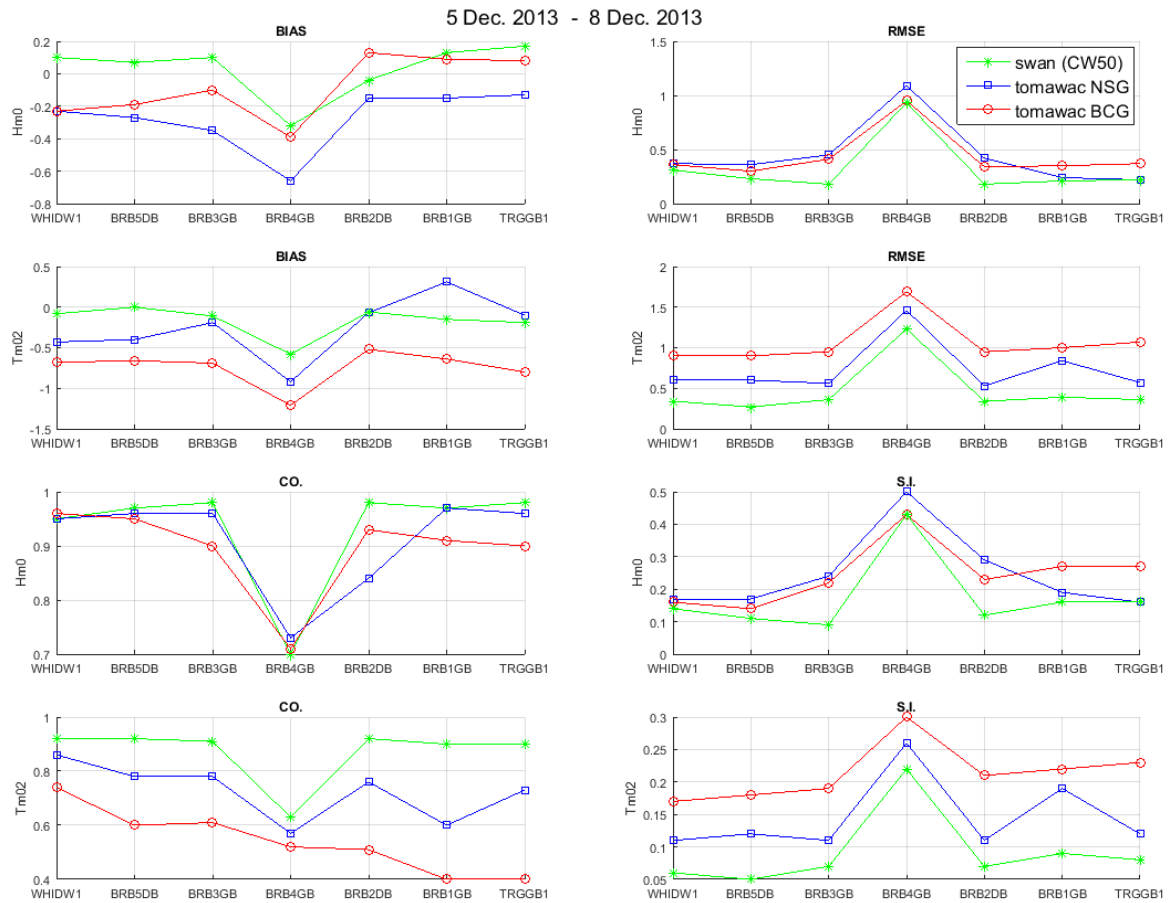
Figuur 4 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



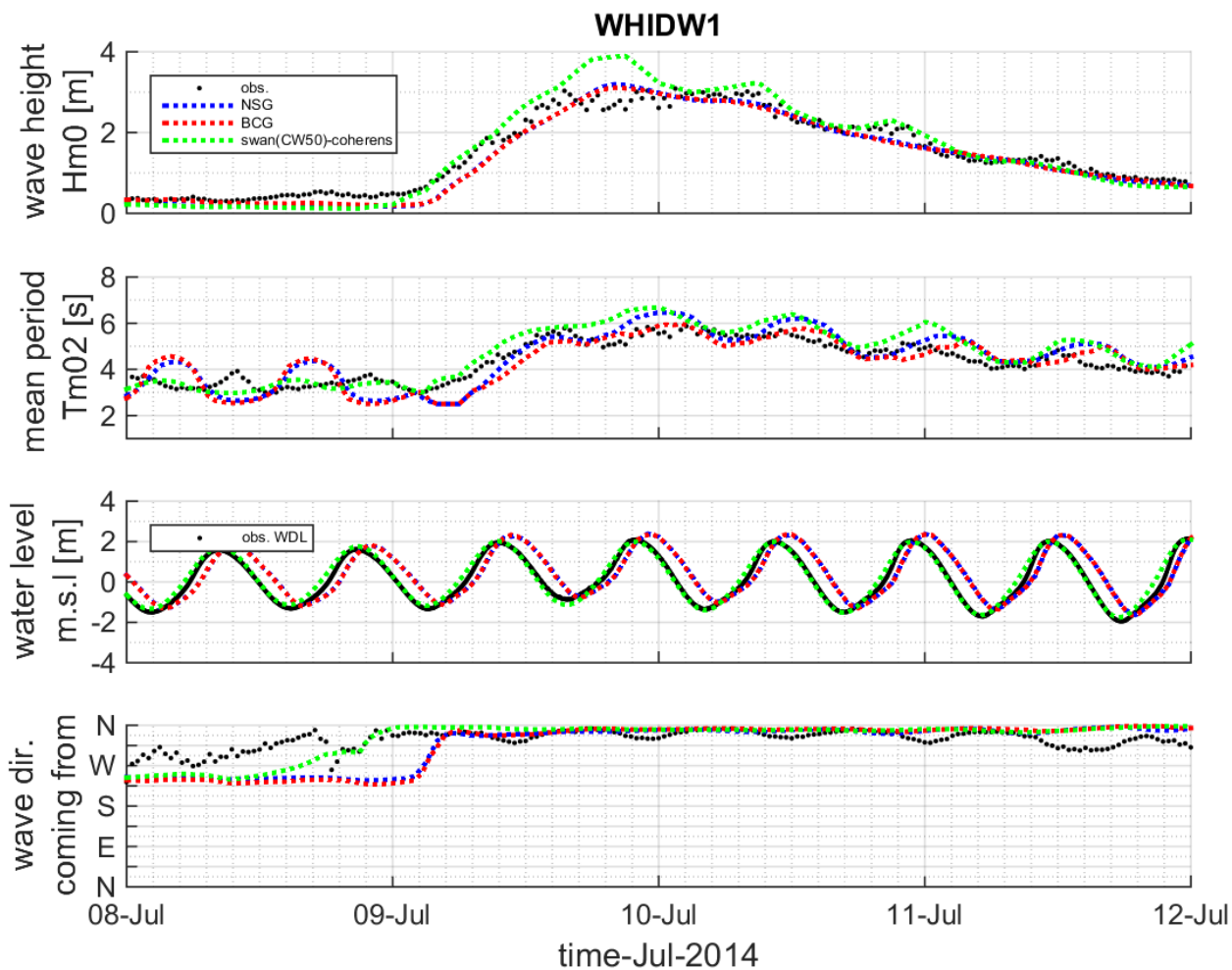
Figuur 5 Evolutie van de golfspectra tijdens de Sinterklaasstorm december 2013 op locatie BRB2DB.

parameter	simulation	station	month				storm			
			Dec 2013				5-8 Dec 2013			
			bias	rmse	co	si	bias	rmse	co	si
Hm0	NSG	WHIDW1	-0.02	0.31	0.92	0.23	-0.23	0.37	0.95	0.17
		BRB5DB	0.02	0.33	0.89	0.28	-0.27	0.36	0.96	0.17
		BRB3GB	-0.08	0.25	0.90	0.27	-0.35	0.45	0.96	0.24
		BRB4GB	-0.13	0.44	0.80	0.43	-0.66	1.09	0.73	0.50
		BRB2DB	0.01	0.23	0.85	0.33	-0.15	0.42	0.84	0.29
		BRB1GB	0.01	0.16	0.91	0.32	-0.15	0.24	0.97	0.19
		TRGGB1	0.00	0.17	0.89	0.25	-0.13	0.22	0.96	0.16
	BCG	WHIDW1	0.07	0.40	0.89	0.30	-0.23	0.36	0.96	0.16
		BRB5DB	-0.03	0.30	0.90	0.26	-0.19	0.30	0.95	0.14
		BRB3GB	-0.04	0.29	0.87	0.32	-0.10	0.41	0.90	0.22
		BRB4GB	-0.06	0.43	0.79	0.42	-0.39	0.95	0.71	0.43
		BRB2DB	0.09	0.27	0.87	0.40	0.13	0.34	0.93	0.23
		BRB1GB	0.13	0.28	0.84	0.57	0.09	0.35	0.91	0.27
		TRGGB1	0.10	0.30	0.81	0.43	0.08	0.37	0.90	0.27
	SWAN	WHIDW1	0.03	0.27	0.95	0.20	0.10	0.31	0.95	0.14
		BRB5DB	-0.02	0.22	0.94	0.19	0.07	0.23	0.97	0.11
		BRB3GB	0.06	0.21	0.94	0.22	0.10	0.18	0.98	0.09
		BRB4GB	-0.07	0.39	0.84	0.38	-0.32	0.93	0.70	0.43
		BRB2DB	0.05	0.17	0.92	0.25	-0.04	0.18	0.98	0.12
		BRB1GB	0.16	0.23	0.91	0.46	0.13	0.21	0.97	0.16
		TRGGB1	0.16	0.23	0.91	0.34	0.17	0.22	0.98	0.16
Tm02	NSG	WHIDW1	-0.02	0.54	0.78	0.13	-0.43	0.60	0.86	0.11
		BRB5DB	0.09	0.63	0.65	0.16	-0.40	0.60	0.78	0.12
		BRB3GB	0.20	0.62	0.70	0.17	-0.19	0.56	0.78	0.11
		BRB4GB	-0.10	0.81	0.60	0.21	-0.92	1.46	0.57	0.26
		BRB2DB	0.27	0.61	0.68	0.19	-0.07	0.53	0.76	0.11
		BRB1GB	0.04	0.69	0.51	0.20	0.31	0.84	0.60	0.19
		TRGGB1	-0.06	0.58	0.65	0.16	-0.10	0.57	0.73	0.12
	BCG	WHIDW1	-0.11	0.65	0.71	0.16	-0.68	0.90	0.74	0.17
		BRB5DB	-0.32	0.67	0.64	0.17	-0.66	0.90	0.60	0.18
		BRB3GB	-0.17	0.57	0.72	0.16	-0.69	0.95	0.61	0.19
		BRB4GB	-0.42	0.88	0.62	0.23	-1.21	1.69	0.52	0.30
		BRB2DB	-0.17	0.53	0.71	0.16	-0.52	0.95	0.51	0.21
		BRB1GB	-0.47	0.71	0.51	0.21	-0.64	1.00	0.40	0.22
		TRGGB1	-0.52	0.71	0.67	0.20	-0.80	1.07	0.40	0.23
	SWAN	WHIDW1	0.13	0.41	0.88	0.10	-0.08	0.34	0.92	0.06
		BRB5DB	0.06	0.43	0.84	0.11	0.00	0.27	0.92	0.05
		BRB3GB	0.18	0.44	0.86	0.12	-0.11	0.36	0.91	0.07
		BRB4GB	-0.09	0.65	0.76	0.17	-0.58	1.23	0.63	0.22
		BRB2DB	0.20	0.46	0.82	0.14	-0.06	0.34	0.92	0.07
		BRB1GB	-0.10	0.48	0.69	0.14	-0.15	0.39	0.90	0.09
		TRGGB1	-0.11	0.38	0.83	0.11	-0.19	0.36	0.90	0.08

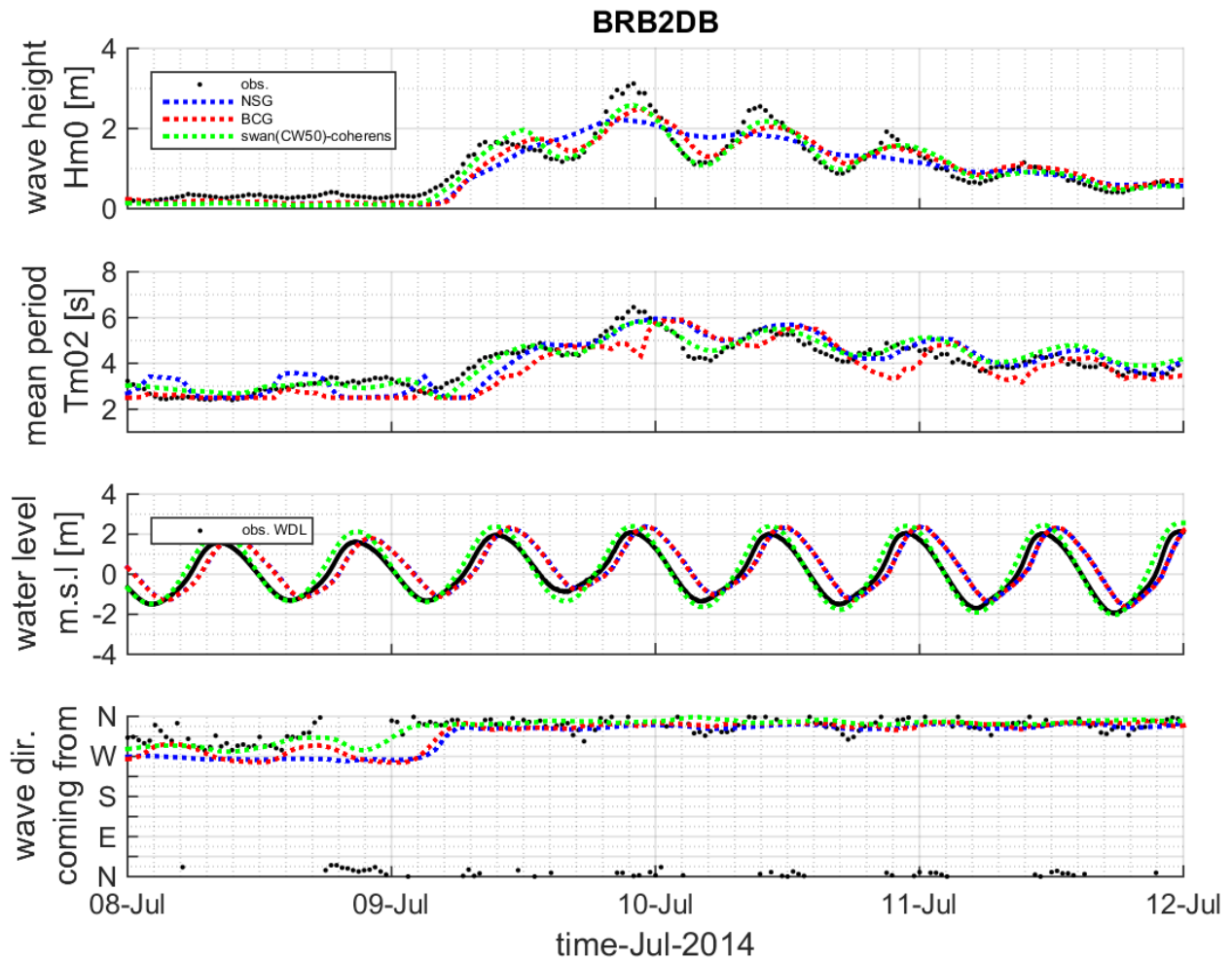
Tabel 4. Statistische parameter waarden voor de Sinterklaasstorm en voor de volledige maand december 2013 voor alle boeien.



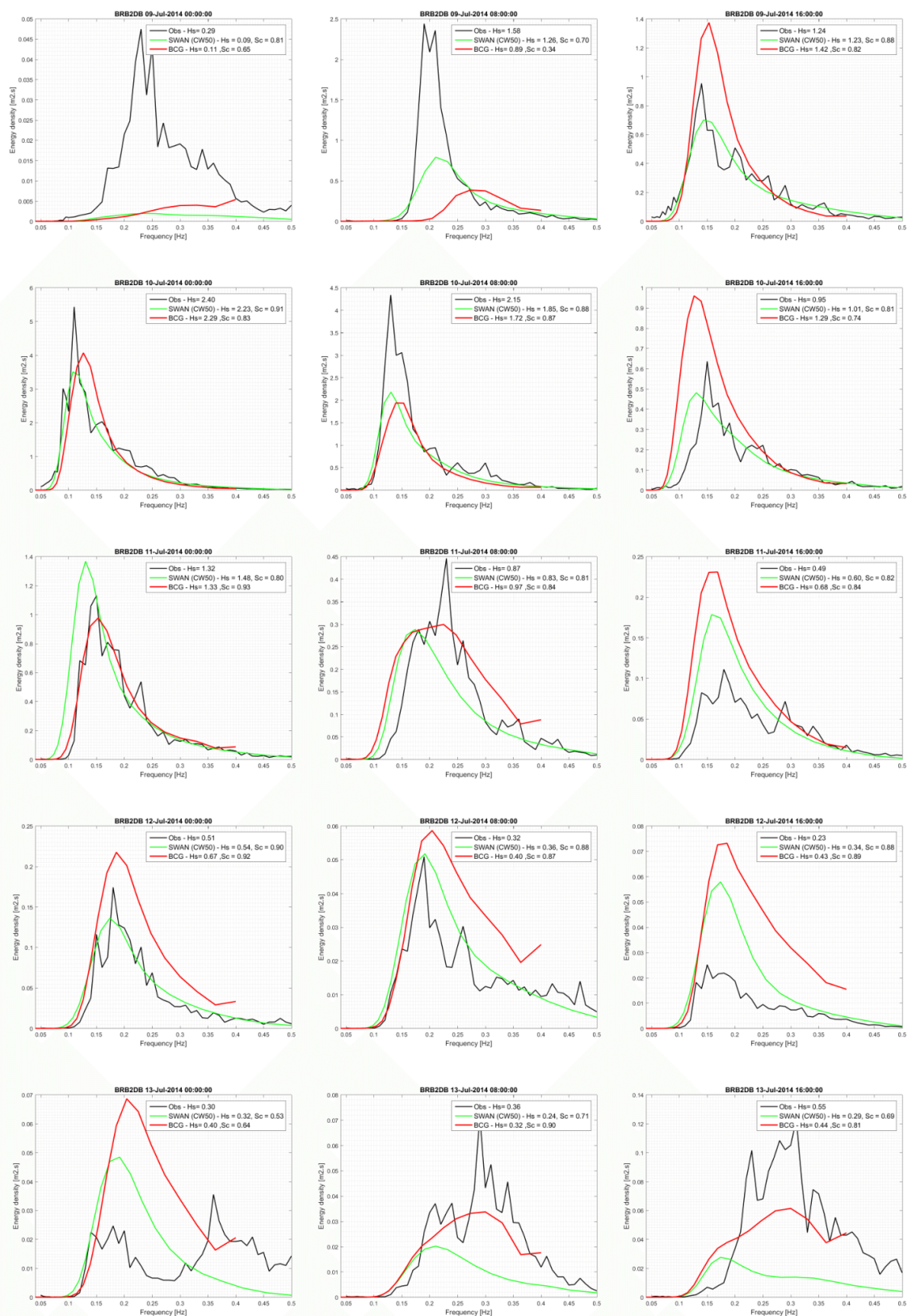
Figuur 6 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de Sinterklaasstorm in december 2013 en dit voor alle boeien.



Figuur 7 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



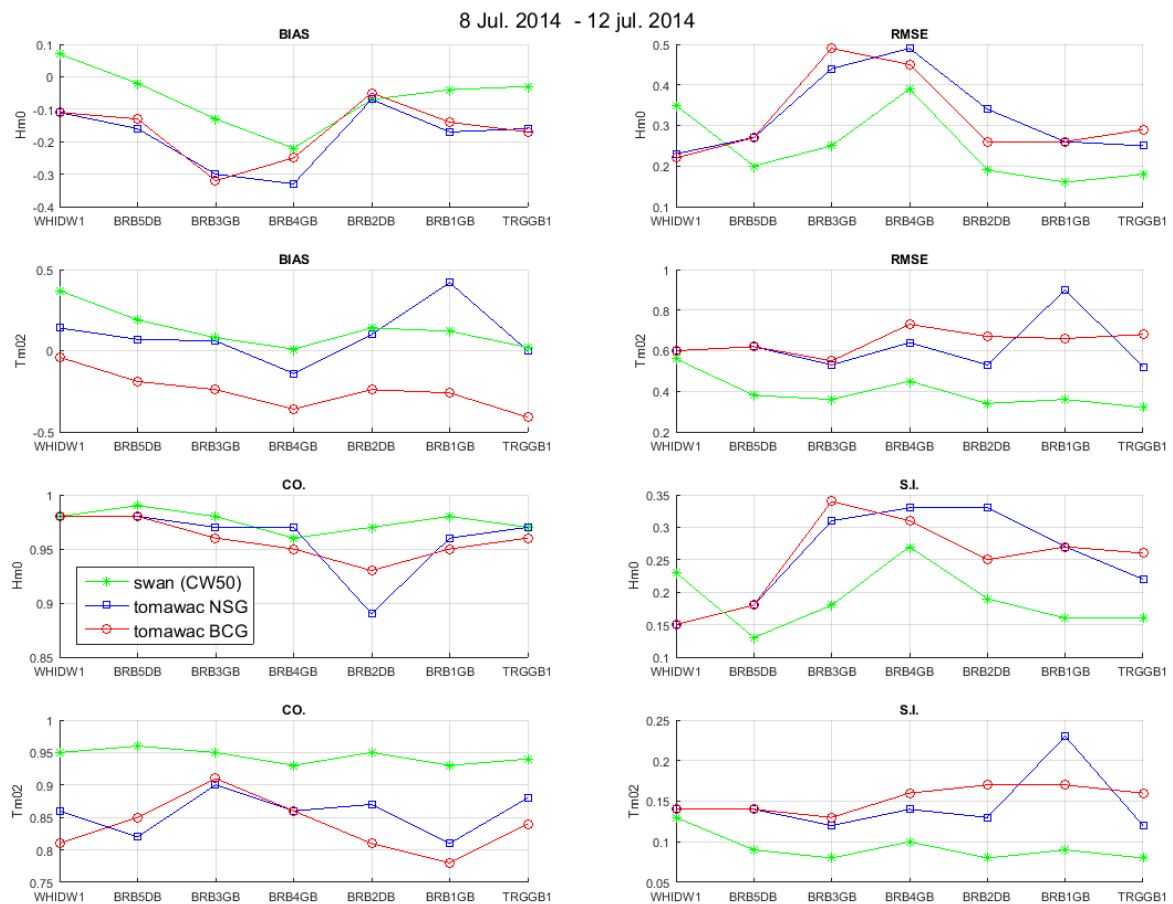
Figuur 8 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



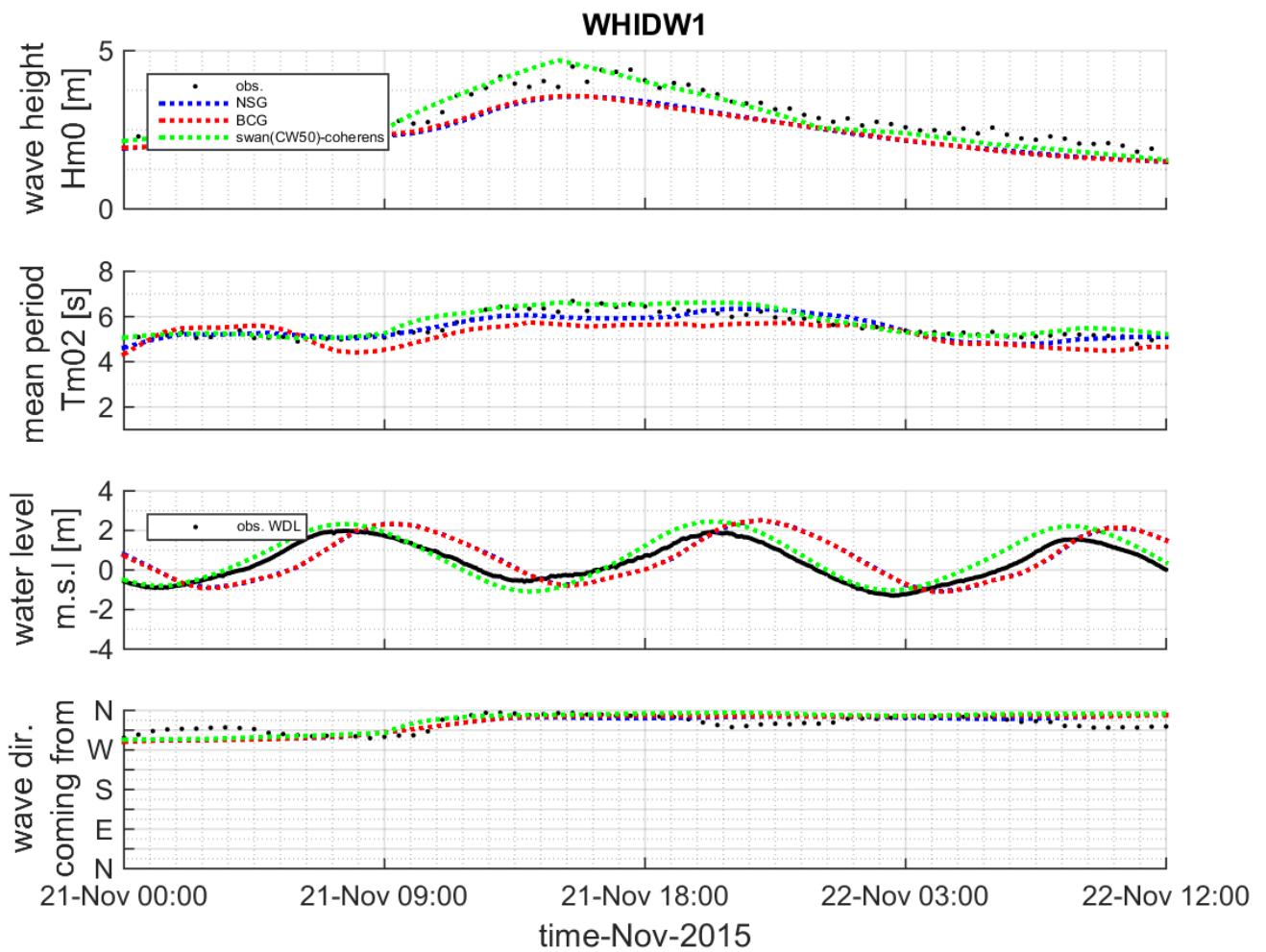
Figuur 9 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB.

parameter	simulation	station	month				storm			
			Jul 2014				8-12 Jul 2014			
			bias	rmse	co	si	bias	rmse	co	si
Hm0	NSG	WHIDW1	-0.14	0.25	0.92	0.30	-0.11	0.23	0.98	0.15
		BRB5DB	-0.11	0.22	0.94	0.29	-0.16	0.27	0.98	0.18
		BRB3GB	-0.12	0.24	0.94	0.35	-0.30	0.44	0.97	0.31
		BRB4GB	-0.15	0.27	0.94	0.38	-0.33	0.49	0.97	0.33
		BRB2DB	-0.05	0.19	0.88	0.36	-0.07	0.34	0.89	0.33
		BRB1GB	-0.09	0.17	0.92	0.36	-0.17	0.26	0.96	0.27
		TRGGB1	-0.10	0.18	0.94	0.29	-0.16	0.25	0.97	0.22
	BCG	WHIDW1	-0.12	0.24	0.92	0.29	-0.11	0.22	0.98	0.15
		BRB5DB	-0.10	0.22	0.93	0.29	-0.13	0.27	0.98	0.18
		BRB3GB	-0.12	0.26	0.93	0.38	-0.32	0.49	0.96	0.34
		BRB4GB	-0.11	0.26	0.92	0.36	-0.25	0.45	0.95	0.31
		BRB2DB	-0.03	0.18	0.89	0.34	-0.05	0.26	0.93	0.25
		BRB1GB	-0.04	0.18	0.89	0.37	-0.14	0.26	0.95	0.27
		TRGGB1	-0.10	0.20	0.92	0.32	-0.17	0.29	0.96	0.26
	SWAN	WHIDW1	-0.08	0.25	0.92	0.30	0.07	0.35	0.98	0.23
		BRB5DB	-0.08	0.21	0.94	0.28	-0.02	0.20	0.99	0.13
		BRB3GB	-0.06	0.18	0.95	0.27	-0.13	0.25	0.98	0.18
		BRB4GB	-0.11	0.23	0.94	0.32	-0.22	0.39	0.96	0.27
		BRB2DB	-0.03	0.15	0.93	0.28	-0.07	0.19	0.97	0.19
		BRB1GB	-0.01	0.12	0.95	0.25	-0.04	0.16	0.98	0.16
		TRGGB1	-0.04	0.15	0.95	0.23	-0.03	0.18	0.97	0.16
Tm02	NSG	WHIDW1	0.06	0.55	0.74	0.15	0.14	0.60	0.86	0.14
		BRB5DB	0.05	0.56	0.71	0.15	0.07	0.62	0.82	0.14
		BRB3GB	0.10	0.51	0.77	0.14	0.06	0.53	0.90	0.12
		BRB4GB	-0.05	0.56	0.72	0.15	-0.14	0.64	0.86	0.14
		BRB2DB	0.04	0.51	0.70	0.15	0.10	0.53	0.87	0.13
		BRB1GB	0.03	0.54	0.68	0.16	0.42	0.90	0.81	0.23
		TRGGB1	-0.14	0.50	0.73	0.14	0.00	0.52	0.88	0.12
	BCG	WHIDW1	-0.02	0.61	0.69	0.17	-0.04	0.60	0.81	0.14
		BRB5DB	-0.16	0.53	0.75	0.15	-0.19	0.62	0.85	0.14
		BRB3GB	-0.19	0.46	0.82	0.13	-0.24	0.55	0.91	0.13
		BRB4GB	-0.33	0.57	0.80	0.16	-0.36	0.73	0.86	0.16
		BRB2DB	-0.34	0.55	0.74	0.16	-0.24	0.67	0.81	0.17
		BRB1GB	-0.37	0.56	0.70	0.17	-0.26	0.66	0.78	0.17
		TRGGB1	-0.49	0.65	0.76	0.18	-0.41	0.68	0.84	0.16
	SWAN	WHIDW1	0.39	0.62	0.79	0.17	0.37	0.56	0.95	0.13
		BRB5DB	0.27	0.55	0.78	0.15	0.19	0.38	0.96	0.09
		BRB3GB	0.28	0.56	0.76	0.16	0.08	0.36	0.95	0.08
		BRB4GB	0.17	0.53	0.78	0.14	0.01	0.45	0.93	0.10
		BRB2DB	0.24	0.52	0.73	0.15	0.14	0.34	0.95	0.08
		BRB1GB	0.16	0.48	0.69	0.14	0.12	0.36	0.93	0.09
		TRGGB1	0.03	0.42	0.77	0.11	0.02	0.32	0.94	0.08

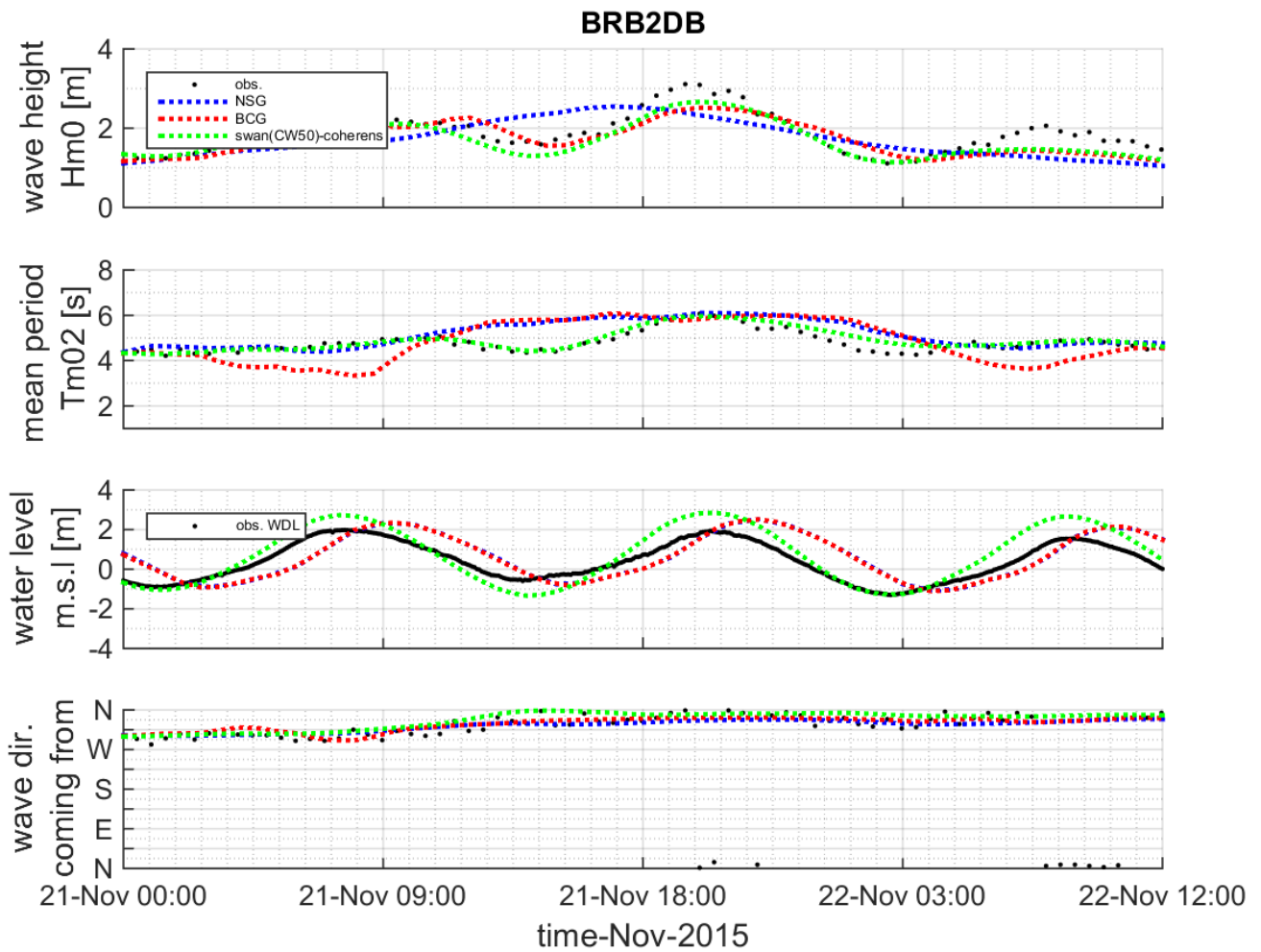
Tabel 5. Statistische parameter waarden voor de storm en voor de volledige maand juli 2014 voor alle boeien.



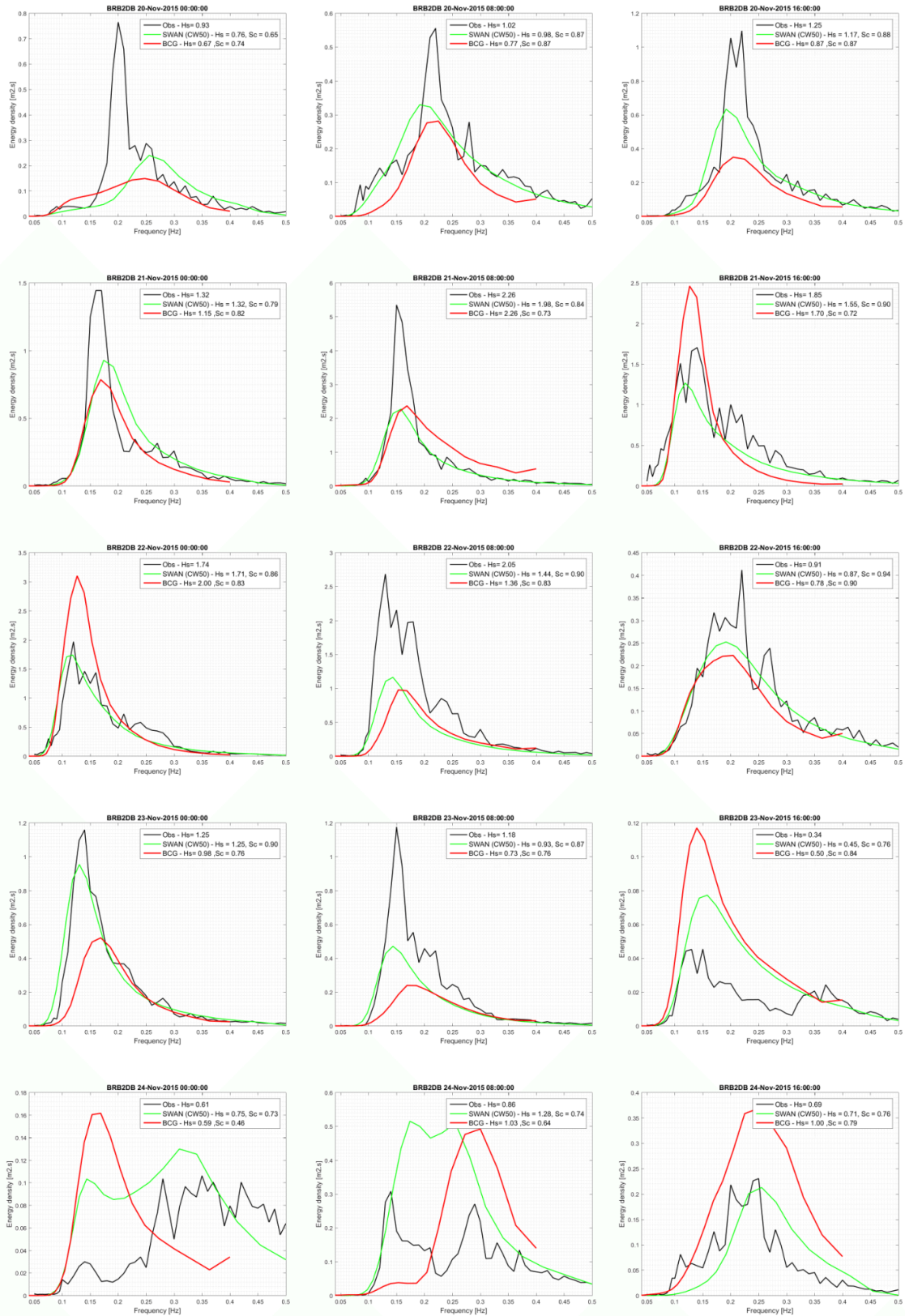
Figuur 10 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van juli 2014 en dit voor alle boeien.



Figuur 11 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



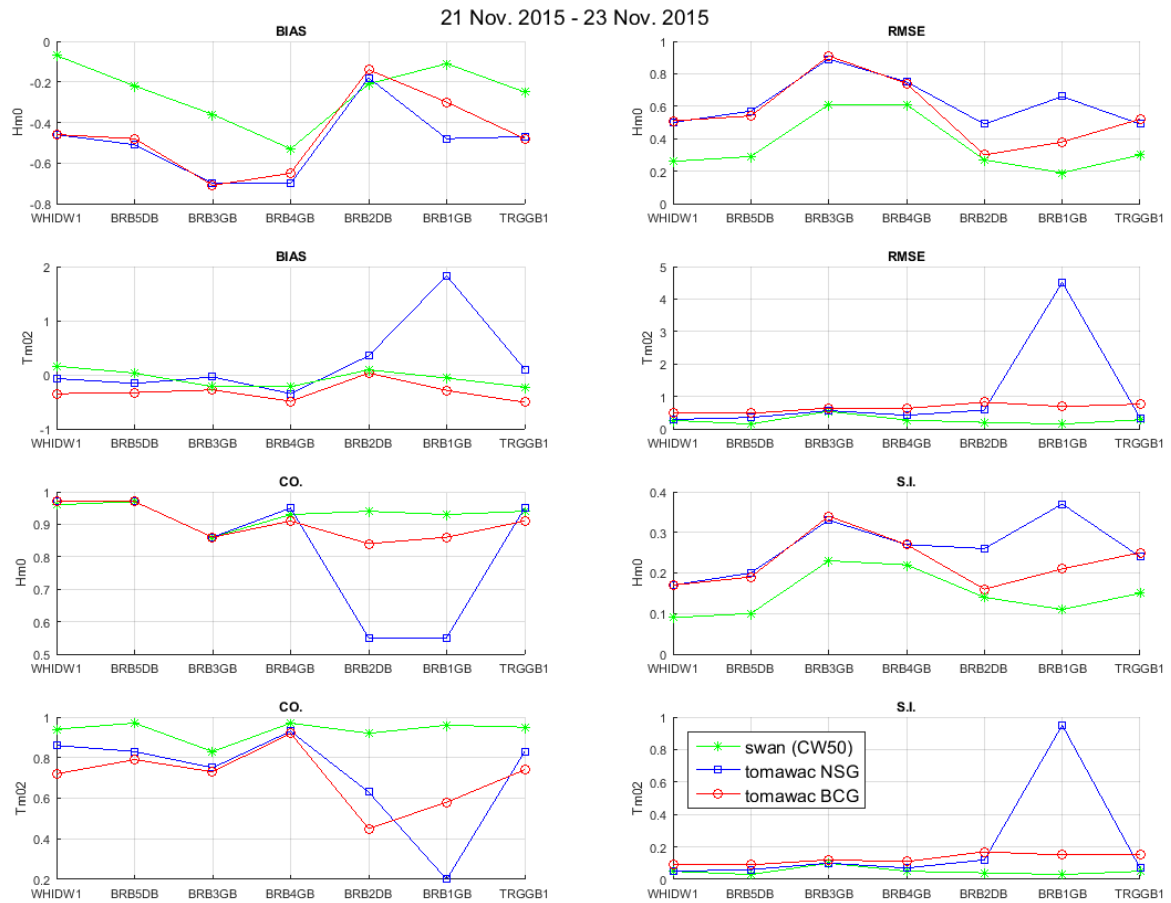
Figuur 12 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



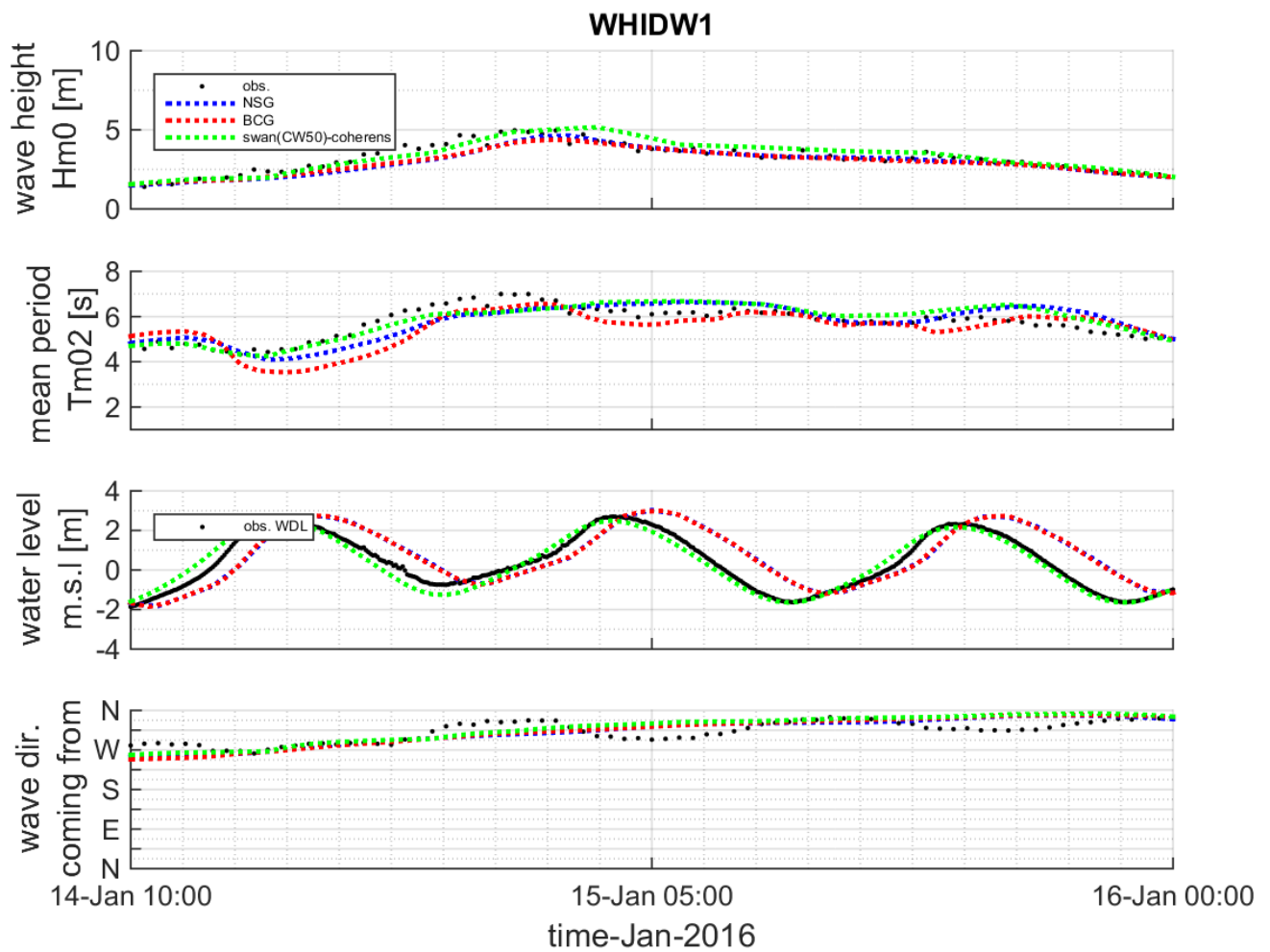
Figuur 13 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 21-22 november 2015op locatie BRB2DB.

parameter	simulation	station	month				storm			
			Nov 2015				21nov00-22nov-1200			
			bias	rmse	co	si	bias	rmse	co	si
Hm0	NSG	WHIDW1	-0.11	0.33	0.94	0.19	-0.46	0.50	0.97	0.17
		BRB5DB	-0.02	0.33	0.92	0.22	-0.51	0.57	0.97	0.20
		BRB3GB	-0.11	0.34	0.89	0.28	-0.70	0.89	0.86	0.33
		BRB4GB	-0.17	0.44	0.88	0.33	-0.70	0.75	0.95	0.27
		BRB2DB	0.01	0.30	0.85	0.33	-0.18	0.49	0.55	0.26
		BRB1GB	-0.08	0.27	0.87	0.37	-0.48	0.66	0.55	0.37
		TRGGB1	-0.12	0.30	0.88	0.29	-0.47	0.49	0.95	0.24
	BCG	WHIDW1	-0.01	0.36	0.92	0.21	-0.46	0.51	0.97	0.17
		BRB5DB	-0.07	0.31	0.93	0.21	-0.48	0.54	0.97	0.19
		BRB3GB	-0.01	0.43	0.83	0.36	-0.71	0.91	0.86	0.34
		BRB4GB	-0.01	0.50	0.81	0.38	-0.65	0.74	0.91	0.27
		BRB2DB	0.12	0.35	0.87	0.38	-0.14	0.30	0.84	0.16
		BRB1GB	0.09	0.34	0.82	0.45	-0.30	0.38	0.86	0.21
		TRGGB1	0.01	0.36	0.79	0.35	-0.48	0.52	0.91	0.25
	SWAN	WHIDW1	-0.07	0.28	0.95	0.17	-0.07	0.26	0.96	0.09
		BRB5DB	-0.09	0.27	0.95	0.18	-0.22	0.29	0.97	0.10
		BRB3GB	0.04	0.27	0.92	0.23	-0.36	0.61	0.86	0.23
		BRB4GB	-0.09	0.41	0.89	0.31	-0.53	0.61	0.93	0.22
		BRB2DB	0.02	0.21	0.93	0.23	-0.21	0.27	0.94	0.14
		BRB1GB	0.12	0.23	0.93	0.31	-0.11	0.19	0.93	0.11
		TRGGB1	0.03	0.24	0.93	0.23	-0.25	0.30	0.94	0.15
Tm02	NSG	WHIDW1	-0.03	0.46	0.89	0.10	-0.07	0.29	0.86	0.05
		BRB5DB	0.02	0.52	0.84	0.12	-0.16	0.35	0.83	0.06
		BRB3GB	0.18	0.55	0.83	0.14	-0.04	0.56	0.75	0.10
		BRB4GB	-0.16	0.68	0.78	0.17	-0.35	0.42	0.93	0.07
		BRB2DB	0.25	0.56	0.78	0.16	0.35	0.58	0.63	0.12
		BRB1GB	0.15	1.22	0.49	0.34	1.83	4.51	0.20	0.95
		TRGGB1	-0.04	0.59	0.68	0.15	0.10	0.34	0.83	0.07
	BCG	WHIDW1	-0.14	0.59	0.85	0.13	-0.35	0.51	0.72	0.09
		BRB5DB	-0.40	0.65	0.82	0.16	-0.33	0.48	0.79	0.09
		BRB3GB	-0.20	0.51	0.84	0.13	-0.28	0.64	0.73	0.12
		BRB4GB	-0.43	0.76	0.80	0.19	-0.49	0.63	0.92	0.11
		BRB2DB	-0.20	0.55	0.74	0.16	0.03	0.82	0.45	0.17
		BRB1GB	-0.44	0.66	0.63	0.19	-0.29	0.69	0.58	0.15
		TRGGB1	-0.58	0.75	0.70	0.20	-0.51	0.76	0.74	0.15
	SWAN	WHIDW1	0.08	0.41	0.91	0.09	0.16	0.26	0.94	0.05
		BRB5DB	-0.03	0.39	0.89	0.09	0.03	0.15	0.97	0.03
		BRB3GB	0.12	0.39	0.90	0.10	-0.22	0.54	0.83	0.10
		BRB4GB	-0.11	0.58	0.84	0.14	-0.22	0.27	0.97	0.05
		BRB2DB	0.23	0.45	0.84	0.13	0.09	0.20	0.92	0.04
		BRB1GB	0.03	0.30	0.87	0.08	-0.06	0.15	0.96	0.03
		TRGGB1	-0.11	0.29	0.90	0.08	-0.23	0.28	0.95	0.05

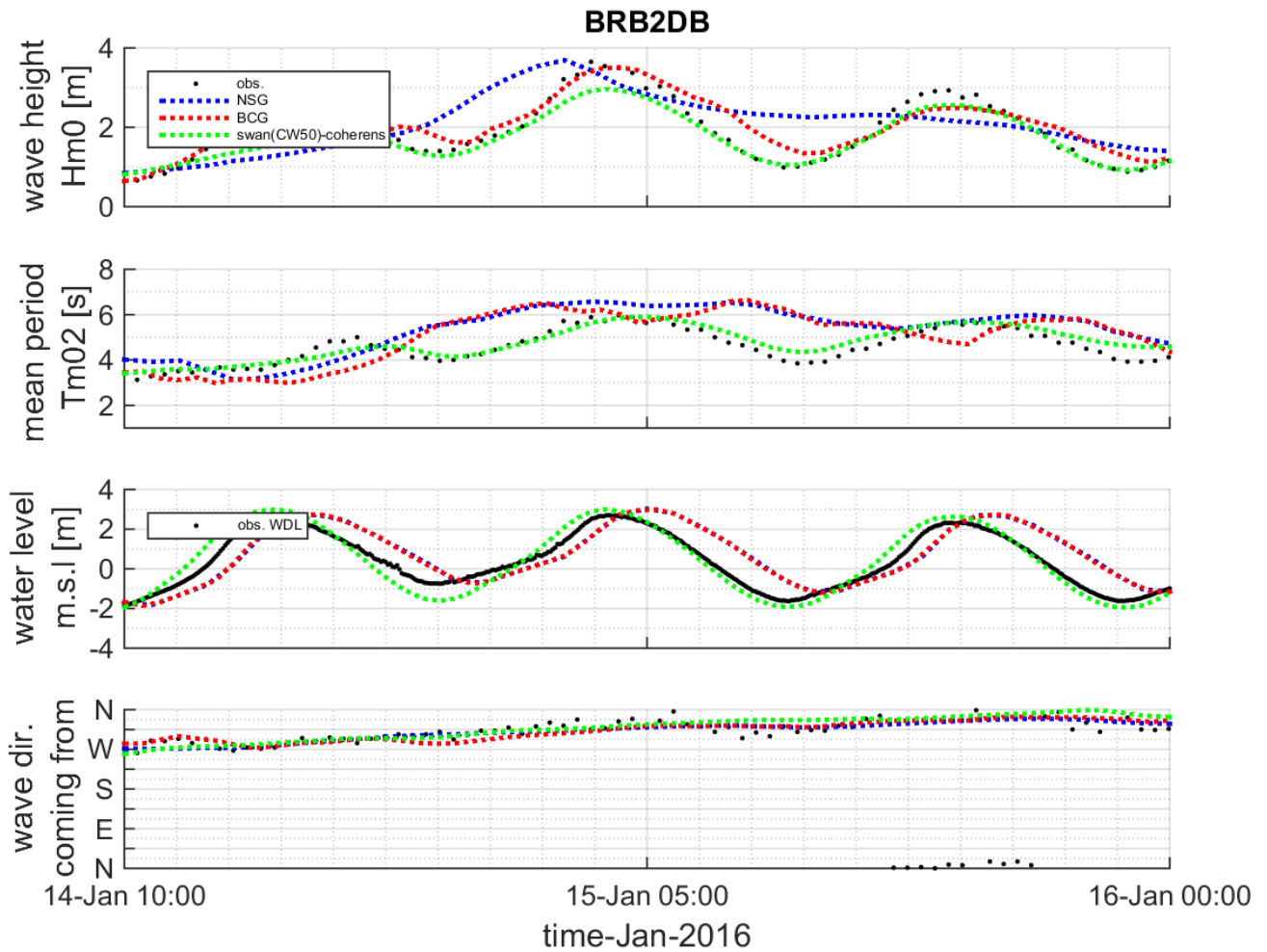
Tabel 6. Statistische parameter waarden voor de storm en voor de volledige maand november 2015 voor alle boeien.



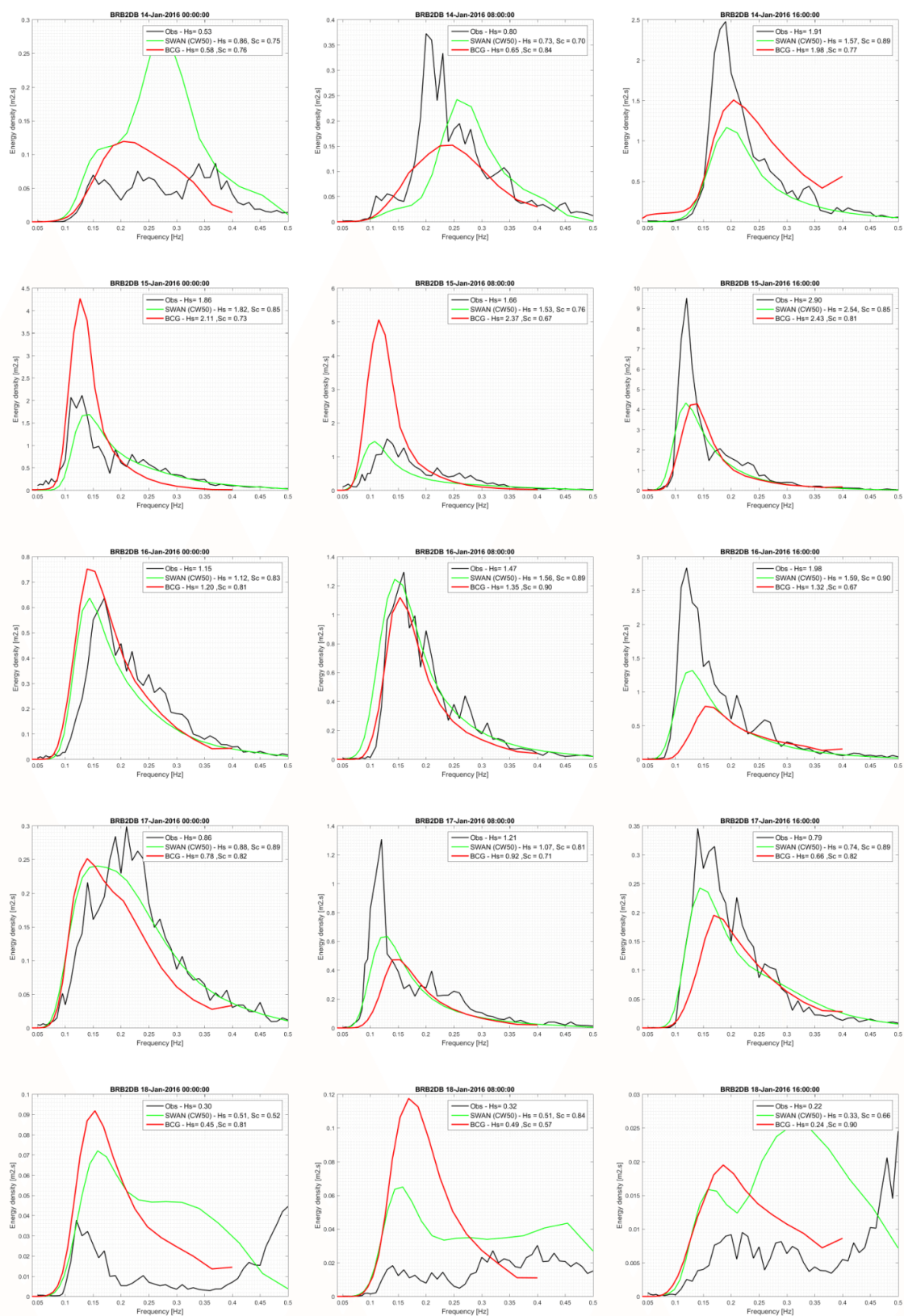
Figuur 14 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van november 2015 en dit voor alle boeien.



Figuur 15 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



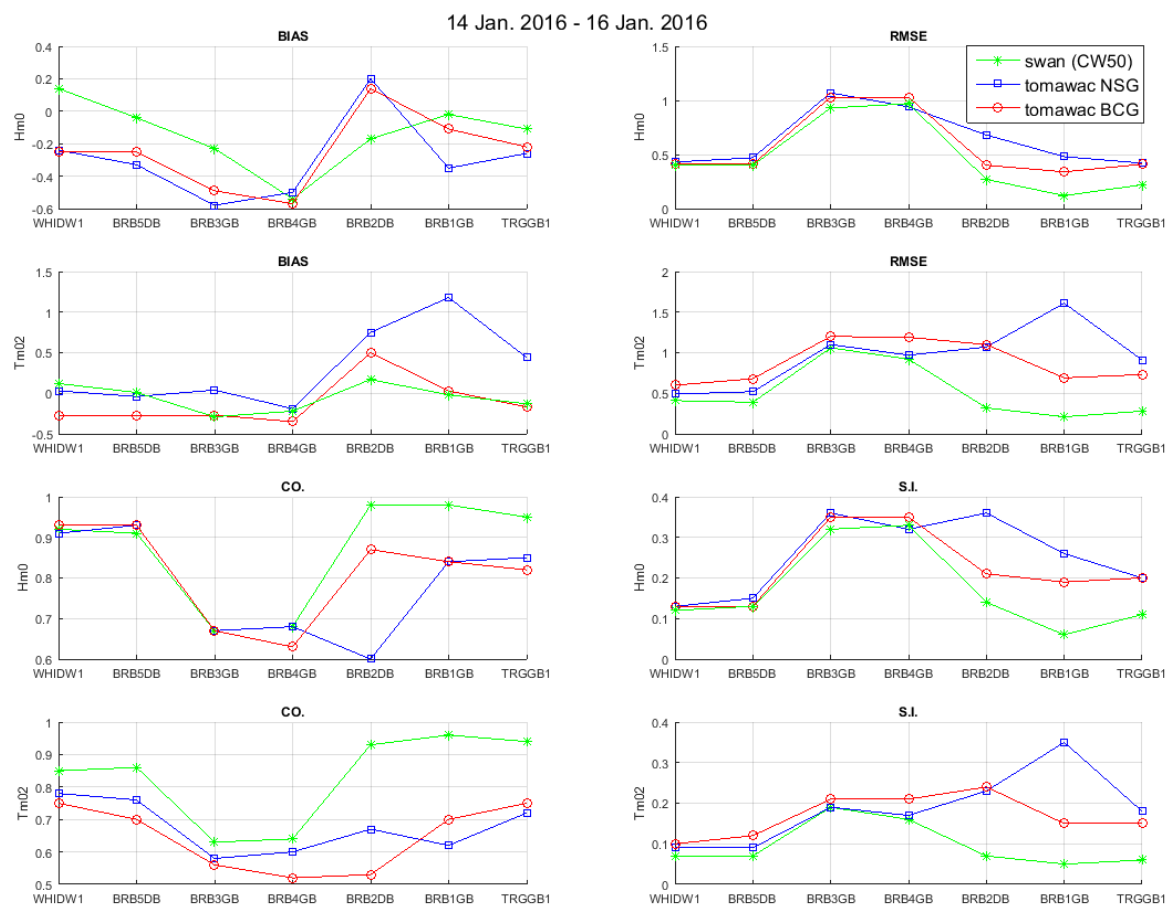
Figuur 16 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



Figuur 17 Evolutie van de golfspectra tijdens de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB.

parameter	simulation	station	month				storm			
			Jan 2016				14jan 1000-16jan 0000			
			bias	rmse	co	si	bias	rmse	co	si
Hm0	NSG	WHIDW1	-0.11	0.34	0.92	0.23	-0.24	0.43	0.91	0.13
		BRB5DB	-0.04	0.34	0.90	0.25	-0.33	0.47	0.93	0.15
		BRB3GB	-0.12	0.37	0.87	0.35	-0.58	1.07	0.67	0.36
		BRB4GB	-0.14	0.37	0.88	0.33	-0.50	0.94	0.68	0.32
		BRB2DB	0.00	0.29	0.85	0.37	0.20	0.68	0.60	0.36
		BRB1GB	-0.04	0.22	0.90	0.38	-0.35	0.48	0.84	0.26
		TRGGB1	-0.08	0.25	0.91	0.32	-0.26	0.42	0.85	0.20
	BCG	WHIDW1	-0.01	0.41	0.89	0.27	-0.25	0.41	0.93	0.13
		BRB5DB	-0.07	0.36	0.90	0.27	-0.25	0.41	0.93	0.13
		BRB3GB	-0.05	0.44	0.82	0.43	-0.49	1.03	0.67	0.35
		BRB4GB	-0.03	0.44	0.82	0.39	-0.57	1.03	0.63	0.35
		BRB2DB	0.10	0.35	0.86	0.46	0.14	0.40	0.87	0.21
		BRB1GB	0.11	0.33	0.83	0.57	-0.11	0.34	0.84	0.19
		TRGGB1	0.03	0.34	0.83	0.43	-0.22	0.41	0.82	0.20
	SWAN	WHIDW1	-0.01	0.28	0.94	0.18	0.14	0.40	0.92	0.12
		BRB5DB	-0.03	0.26	0.94	0.20	-0.04	0.40	0.91	0.13
		BRB3GB	0.07	0.31	0.91	0.30	-0.23	0.93	0.67	0.32
		BRB4GB	-0.01	0.33	0.90	0.30	-0.54	0.97	0.68	0.33
		BRB2DB	0.10	0.21	0.94	0.28	-0.17	0.27	0.98	0.14
		BRB1GB	0.17	0.24	0.94	0.42	-0.02	0.12	0.98	0.06
		TRGGB1	0.12	0.24	0.94	0.30	-0.11	0.22	0.95	0.11
Tm02	NSG	WHIDW1	-0.02	0.53	0.82	0.13	0.03	0.49	0.78	0.09
		BRB5DB	0.03	0.59	0.74	0.15	-0.04	0.52	0.76	0.09
		BRB3GB	0.27	0.73	0.71	0.20	0.04	1.10	0.58	0.19
		BRB4GB	-0.06	0.68	0.69	0.18	-0.19	0.97	0.60	0.17
		BRB2DB	0.38	0.71	0.66	0.22	0.75	1.07	0.67	0.23
		BRB1GB	0.01	0.93	0.35	0.25	1.18	1.61	0.62	0.35
		TRGGB1	-0.05	0.78	0.53	0.21	0.44	0.91	0.72	0.18
	BCG	WHIDW1	-0.12	0.58	0.79	0.14	-0.27	0.60	0.75	0.10
		BRB5DB	-0.40	0.70	0.73	0.18	-0.27	0.68	0.70	0.12
		BRB3GB	-0.12	0.62	0.74	0.17	-0.27	1.20	0.56	0.21
		BRB4GB	-0.34	0.73	0.71	0.19	-0.35	1.19	0.52	0.21
		BRB2DB	-0.07	0.60	0.66	0.18	0.50	1.10	0.53	0.24
		BRB1GB	-0.60	0.94	0.38	0.26	0.03	0.69	0.70	0.15
		TRGGB1	-0.56	0.85	0.60	0.23	-0.17	0.73	0.75	0.15
	SWAN	WHIDW1	0.22	0.50	0.84	0.12	0.12	0.41	0.85	0.07
		BRB5DB	0.08	0.47	0.81	0.12	0.01	0.39	0.86	0.07
		BRB3GB	0.21	0.52	0.84	0.14	-0.29	1.06	0.63	0.19
		BRB4GB	0.02	0.48	0.84	0.12	-0.22	0.92	0.64	0.16
		BRB2DB	0.25	0.41	0.88	0.12	0.17	0.32	0.93	0.07
		BRB1GB	-0.19	0.60	0.60	0.16	-0.02	0.21	0.96	0.05
		TRGGB1	-0.13	0.44	0.83	0.12	-0.13	0.28	0.94	0.06

Tabel 7. Statistische parameter waarden voor de storm en voor de volledige maand januari 2016 voor alle boeien.



Figuur 18 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van januari 2016 en dit voor alle boeien.

5 Discussie en aanbevelingen

5.1 Discussie

Het voornaamste doel van dit TELEMAC-TOMAWAC project was om na te gaan of de alternatieve set-up van de TELEMAC-TOMAWAC suite van modellen even goed, minder goed of beter was dan de reeds uitgewerkte COHERENS-SWAN configuratie. Met het oog op sediment transport berekeningen met het SISYPHE model dat net als TELEMAC en TOMAWAC deel uitmaakt van één geïntegreerd softwarepakket, is dat een heel interessante piste. Om dit te kunnen doen werd het TELEMAC-TOMAWAC model geïmplementeerd op twee verschillende rekenroosters waarbij de resultaten van het NSG modelrooster (Noordzeemodel) konden gebruikt worden als randvoorwaarden voor het BCG-rooster (kuststrookmodel). Details van de set-up zijn terug te vinden in de rapporten 214.341_R01, 214.341_R02, 214.341_R03, 214.341_R04 and 214.341_R05.

Uit de verschillende figuren in sectie 4 van dit rapport blijkt duidelijk dat van de drie modelconfiguraties die hier zijn gebruikt, het SWAN-COHERENS kuststrookmodel momenteel performanter is dan het TELEMAC-TOMAWAC model. De betere performantie is vooral duidelijk dicht bij de kust. Zowat alle statistische parameters op de boeilocaties BRB2DB, BRB1GB en TRGGB1 zijn beter voor de SWAN-COHERENS modelconfiguratie, zie de plots in Figuur 6, Figuur 10, Figuur 14 en Figuur 18. Het verschil in performantie voor de meer zeewaartse boeilocaties is aanzienlijk kleiner. Het TELEMAC-TOMAWAC kuststrookmodel (BCG) scoort doorgaans beter op de boeilocaties dicht bij de kust dan het TELEMAC-TOMAWAC Noordzeemodel (NSG) wat natuurlijk in de lijn van de verwachtingen ligt gezien de beperkte resolutie van het NSG-model.

Het was niet mogelijk binnen dit project om op een heel systematische manier naar de oorzaken van de verschillen te zoeken. Het feit dat er heel veel problemen waren met de koppeling tussen het TELEMAC en het TOMAWAC model in de verschillende release versies van de software, is in elk geval een aanwijzing dat deze koppeling nog niet heel robuust is binnen dit softwarepakket. Het spectraal golfmodel SWAN heeft een grotere en reeds langere tijd actieve gebruikersgroep en is daardoor wellicht ook stabiel bij gebruik. Ook binnen het KU Leuven team is er een langere gebruikstraditie met het SWAN model. Desalniettemin zijn de TELEMAC-TOMAWAC resultaten bemoedigend. Hier en daar zijn de resultaten van de TELEMAC-TOMAWAC modelconfiguratie net iets beter dan van de SWAN-COHERENS configuratie. De opgedane ervaring met het TELEMAC-TOMAWAC model is heel belangrijk naar verdere projecten toe. Daarom worden hieronder een aantal bevindingen en aanbevelingen voor verder onderzoek gebundeld.

5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Zoals boven aangehaald is de performantie van het TELEMAC-TOMAWAC modelconfiguratie minder goed dan die van de SWAN-COHERENS modelconfiguratie. De volgende punten lijken ons prioritair voor verder onderzoek:

- In de plots waar ook de waterstanden op locatie Wandelaar zijn weergegeven (e.g. sectie 4.2 **Error! Reference source not found.**, Figuur 3, Figuur 4, Figuur 7 en Figuur 8) is duidelijk een fazeverschuiving te zien (grootte-orde 2 uur) in vergelijking met de gemeten waterstand. Het is niet duidelijk op dit moment of dit eerder te wijten is aan de opgelegde getijrandvoorwaarden of eerder te wijten is aan de voortplanting

van het getij in het model (of aan een combinatie van de twee). Deze fazeverschuiving heeft ontegensprekelijk een effect op de waterstanden (en stromingen) die via de koppeling worden doorgegeven aan het TOMAWAC model. Foutieve informatie over waterstanden en stromingen worden dan meegenomen in de berekening van de dissipatieprocessen in het golfmodel. Het is dus belangrijk dat de oorzaak van deze fazeverschuiving in de waterstand gevonden en geremedieerd wordt.

- Voor de gemiddelde golfperiode T_{m02} is er een duidelijk getijsignaal te zien. In de resultaten afkomstig van het golfmodel TOMAWAC is de modulatie door het getij te sterk in vergelijking met de metingen. In het SWAN model zijn de fluctuaties minder sterk en meer in lijn met de metingen. Dit dient verder onderzocht te worden.
- In Tabel 1 kan men vier verschillende dieptes aflezen, een diepte dat werd gemeten tijdens de onderhoudscampagnes van de boeien en drie dieptes die overeenkomen met de diepte in het gebruikte modelconfiguratie. Het is op zich niet verwonderlijk dat er verschillen zijn in diepte gezien de manier waarop elk model omgaat met bathymetrische gegevens verschillend kan zijn (en is). Bovendien is de bodem dynamisch en kan men verschillen verwachten tussen verschillende lodingen. Vooral het TELEMAC_TOMAWAC Noordzeemodel toont vrij grote verschillen in diepte voor de locaties dicht bij de kust. Dit zou voor een groot deel de mindere performantie van deze modelconfiguratie voor de locaties dicht bij de kust kunnen verklaren. Het verdient aanbeveling om voor toekomstige modelstudies nog meer aandacht te besteden aan de bathymetrische gegevens en hoe daar systematisch kan mee omgegaan worden.
- Op dit moment is het nog niet mogelijk om gemeten spectra op te leggen als randvoorwaarde aan het TELEMAC-TOMAWAC BCG kuststrookmodel, zoals wel al het geval is voor het SWAN kuststrookmodel (zie Rapport 212.176-R06-20150515). Dit is momenteel (academiejaar 2016-2017) een onderwerp van onderzoek in een masterthesis aan de KU Leuven. Deze oefening verdient zeker de nodige aandacht.
- Er is zeker ook nog ruimte voor verdieping van de kennis van de formuleringen en numerieke implementatie van o.a. de brontermen en de advectionstermen in het TOMAWAC model. Deze implementatie verschilt van de implementatie in het SWAN model. Alhoewel dit voor een gebruiker transparant zou moeten zijn, leert de ervaring dat die zaken een belangrijke invloed kunnen hebben op de uiteindelijke resultaten.

6 REFERENTIELIJST

- BATTJES J.A., JANSSEN J.P.F.M. (1978): Energy loss and set-up due to breaking of random waves. Proc. 16th Int. Conf. on Coastal Eng., pp 569-587.
- EDF R&D TOMAWAC 2011. Software for sea state modelling on unstructured grids over oceans and coastal seas. Release 6.1.
- HASSELMANN K., BARNETT T.P., BOUWS E., CARLSON H., CARTWRIGHT D.E., ENKE K., EWING J.A., GIENAPP H., HASSELMANN D.E., KRUSEMAN P., MEERBURG A., MULLER P., OLBERS D.J., RICHTER K., SELL W., WALDEN H. (1973): Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). Deutschen Hydrographischen Zeitschrift, Reihe A (8°), N° 12.
- HASSELMANN S., HASSELMANN K. (1985): Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in gravity-wave spectrum. Part I: a new method for efficient computations of the exact nonlinear transfer integral. J. Phys. Oceanogr., vol. 15, pp 1369-1377.
- HASSELMANN S., HASSELMANN K., ALLENDER J.H., BARNETT T.P. (1985): Computations and parameterizations of the nonlinear energy transfer in gravity-wave spectrum. Part II: Parameterizations of the nonlinear energy transfer for application in wave models. J. Phys. Oceanogr., vol. 15, pp 1378-1391.
- GIARDINO, A., 2008. Numerical Modelling of Sediment Transport in Shelf Seas and Estuaries. Case Studies: the Kwinte Bank and the IJzermonding, Doctoraatsthesis KU Leuven, Faculteit Ingenieurswetenschappen.
- JANSSEN P.A.E.M. (1991): Quasi-linear theory of wind-wave generation applied to wave forecasting. J. Phys. Oceanogr., vol. 21, pp 1631-1642.
- KOMEN G.J., HASSELMANN S., HASSELMANN K. (1984): On the existence of a fully developed wind-sea spectrum. J. Phys. Oceanogr., vol. 14, pp 1271-1285.
- Rapport 214.341_R01_20150715_final. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel Telemac 2D”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Juli 2015.
- Rapport 212.176-R06-20150515 *“Monitoring Broersbank - Resultaten Modelleren December 2013 - Februari 2015”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, Mei 2015.
- Rapport 214341_R02_20160430_final. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel golfmodel TOMAWAC”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, April 2016.
- Rapport 214341_R03_20160829_DRAFT. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel Concept kustrookmodel”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven, April 2016.
- Rapport 214.341_R04. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” – Conceptmodel koppeling TELEMAC-TOMAWAC Noordzee”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven. Oktober 2016.
- Rapport 214.341_R05. *“Vlaamse Baaien – Monitoring “Broersbank” –koppeling TELEMAC-TOMAWAC kust”*. Laboratorium voor Hydraulica, KU Leuven. Oktober 2016.

ANNEX 1. SPECTRAL SCORE INDICATOR (S-score)

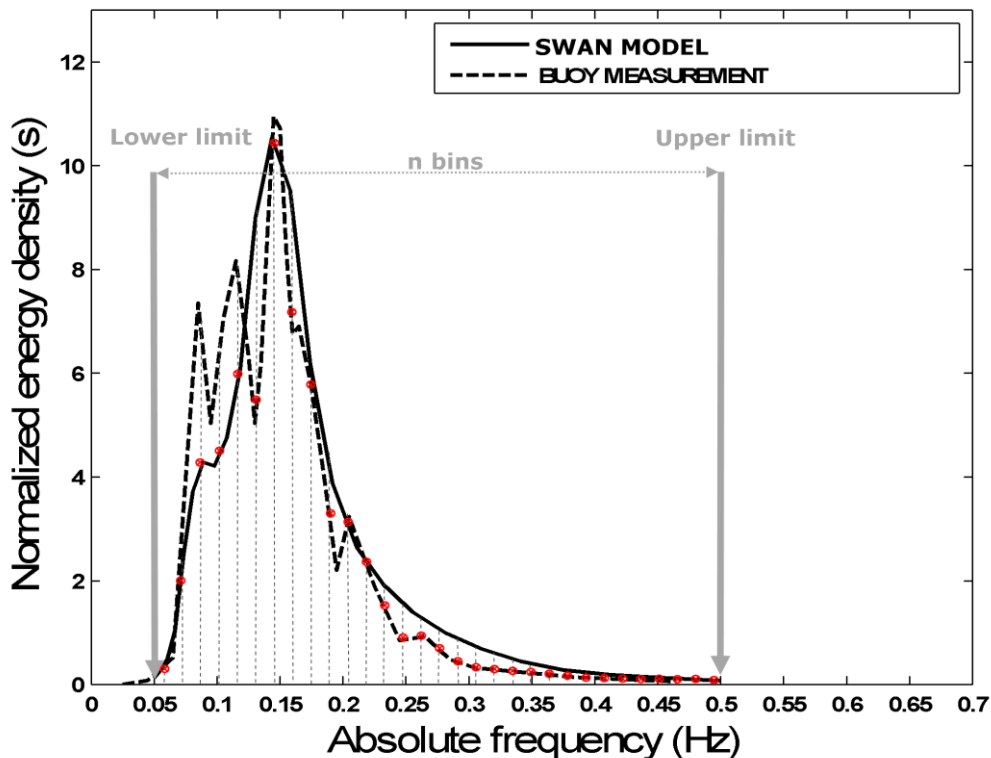
S-score implementatie.

De indicator ‘Spectrale Score (S-score)’ is een nieuwe kwaliteitsindicator ontwikkeld met het oog op een beter begrip van het gedrag van het model bij het reproduceren van de golfspectra. Het is erop gericht te meten hoe goed het model de reële energieverdeling simuleert en is hoofdzakelijk een vergelijking van de twee (gemodelleerde en gemeten) 1D golfspectra. De S-score wordt als volgt berekend.

- Definieer een standaard frequentievector om de vergelijking te maken. In dit geval werden de 1D frequentiespectra verkregen uit SWAN in het gebied 0.050-0.5Hz, verdeeld in 25 intervallen, als standaard gekozen.
- Interpoleer het geobserveerde spectrum in diezelfde ‘n’ frequentie-intervallen. Merk op dat door deze interpolatie de energie niet perfect gerepliceerd wordt en er zo energie verloren gaat. Dit is beperkt en zal dus ook maar beperkt invloed hebben op het resultaat. Desalniettemin kan er in deze stap nog een aanpassing gedaan worden met het oog op energiebehoud.
- Normaliseer zowel het model als het gemeten spectrum (oppervlakte onder het genormaliseerde spectrum is gelijk aan 1). Plot beide genormaliseerde spectra.
- Bereken het gebied onder de laagste energie van beide spectra voor elk frequentie-interval. Dit geeft de S-score voor elke tijdstap.

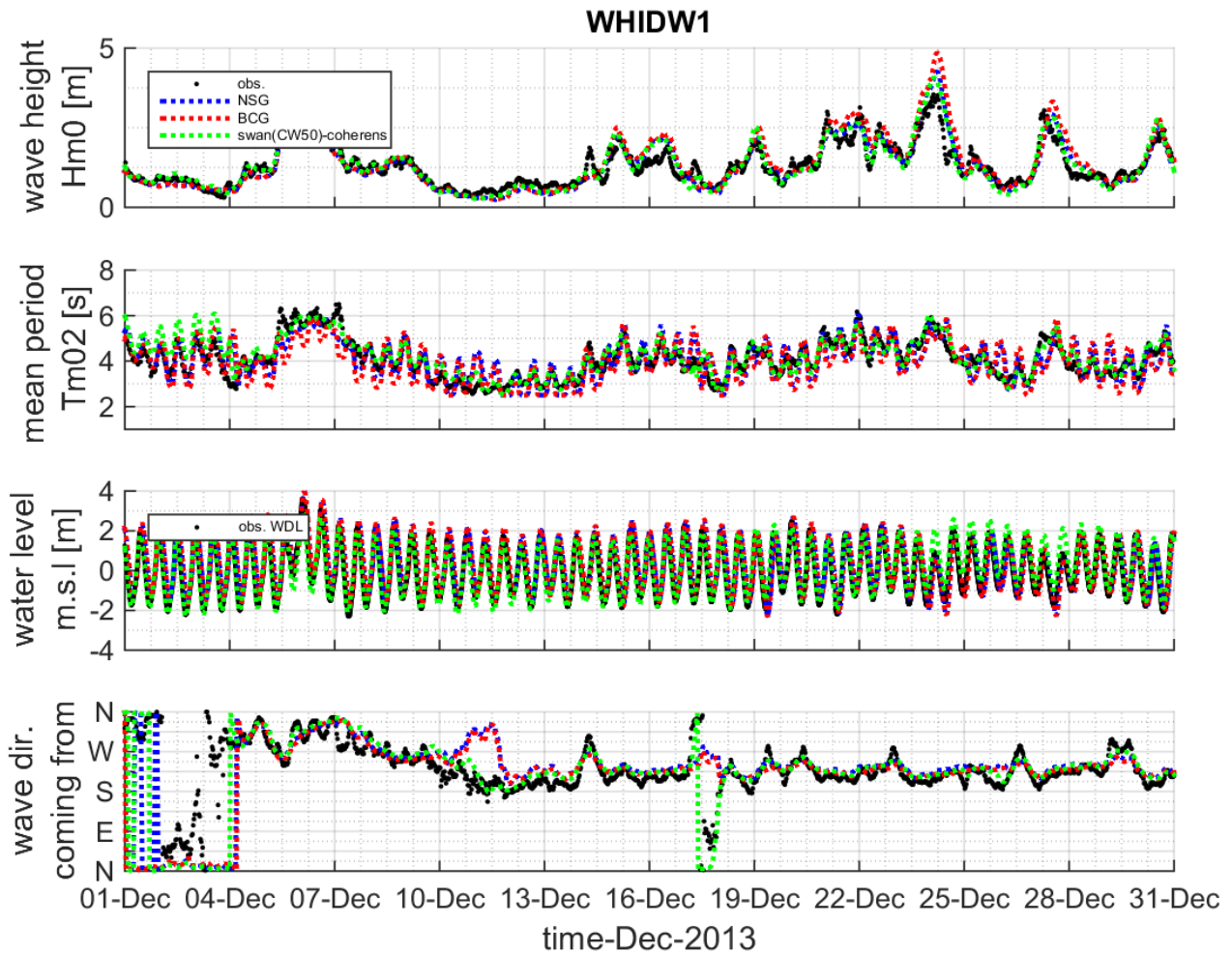
$$S_{score} = \sum_{n=1}^n \min(S_{MODEL}^{normalized}, S_{OBSERVATION}^{normalized}) \Delta f_n$$

Δf_n is de breedte van het frequentie-interval voor de n-de frequentie in het energiespectrum.

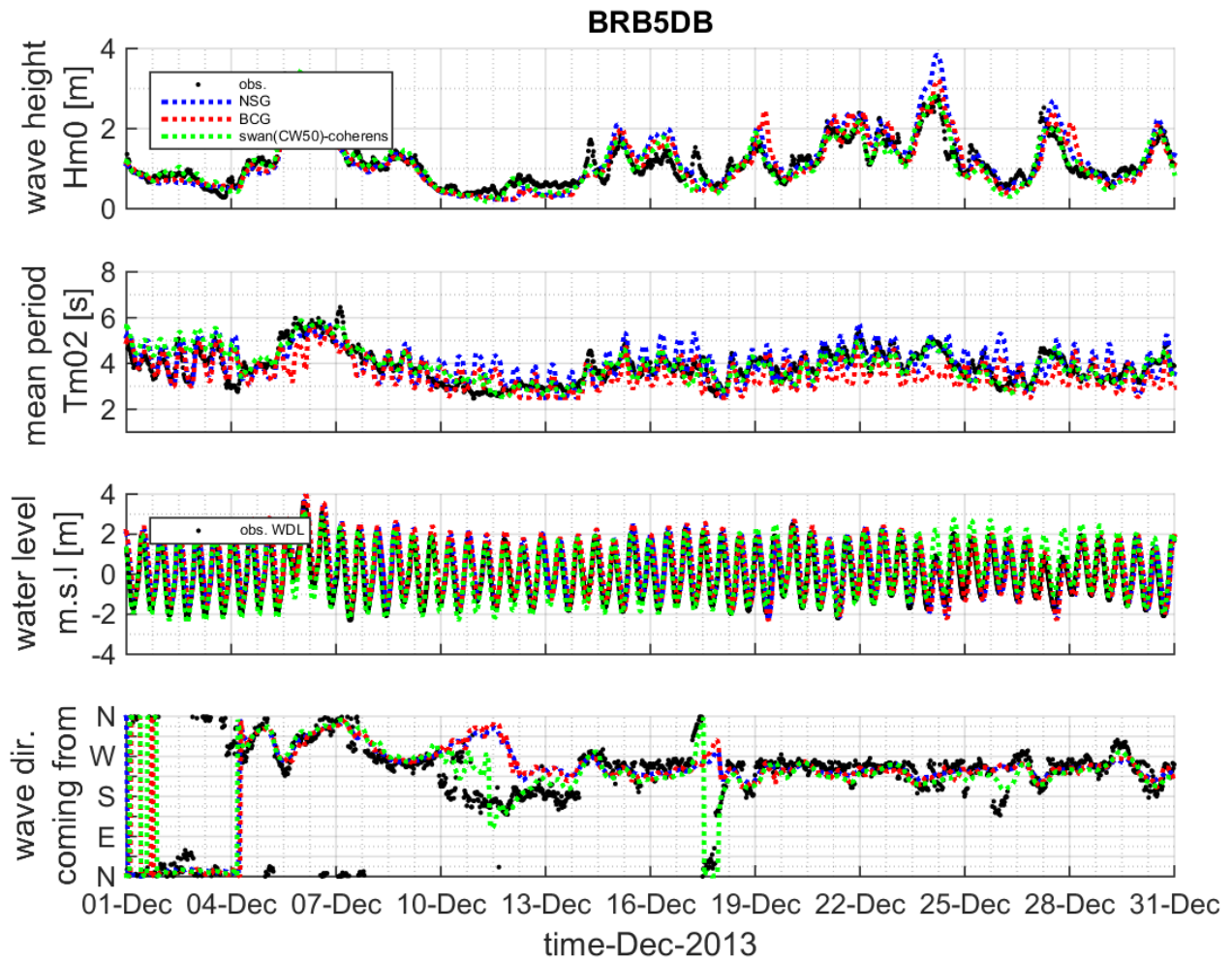


Figuur 0.1 Voorbeeld ter illustratie van de methodologie om de S-score te berekenen.

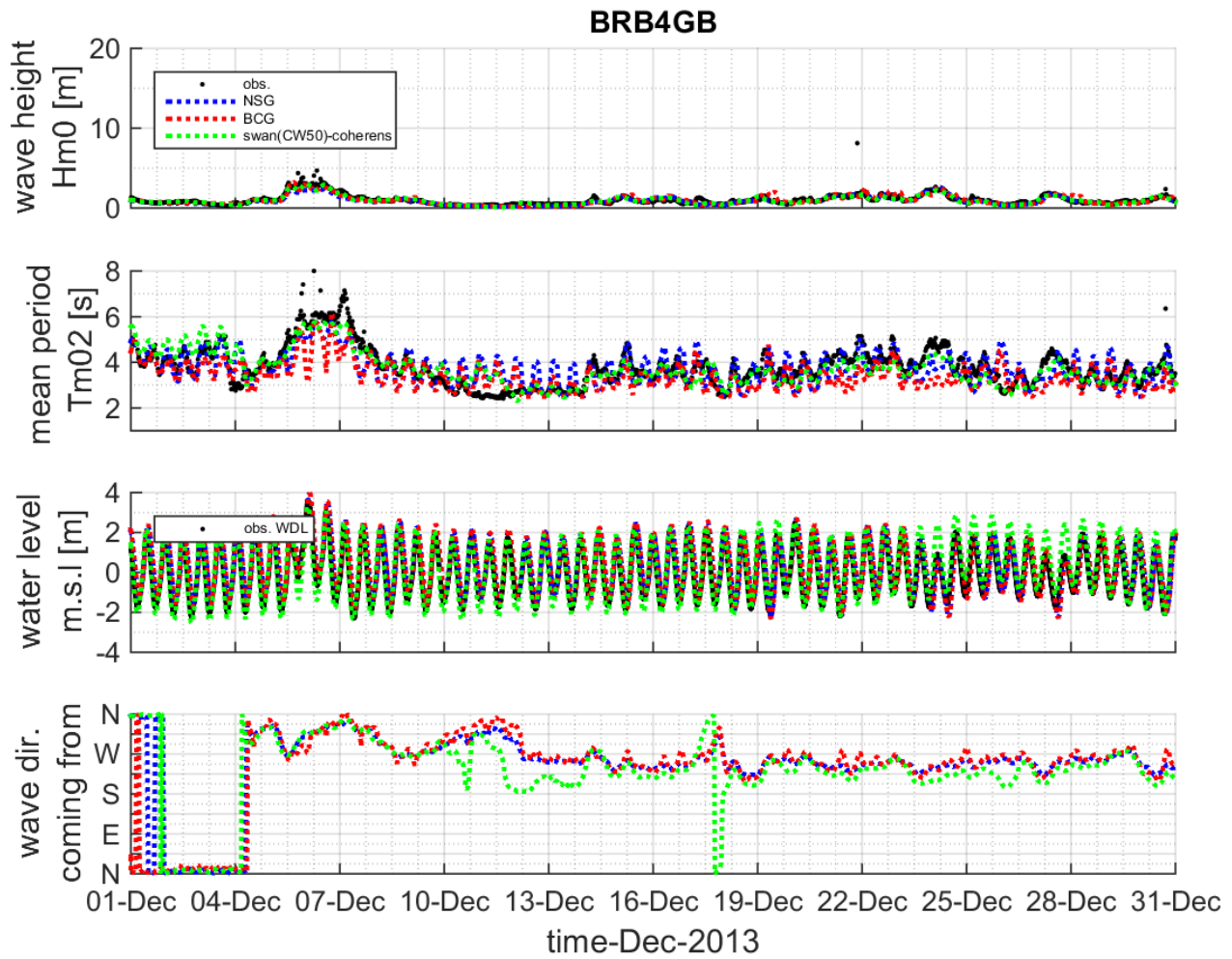
ANNEX 2. RESULTATEN



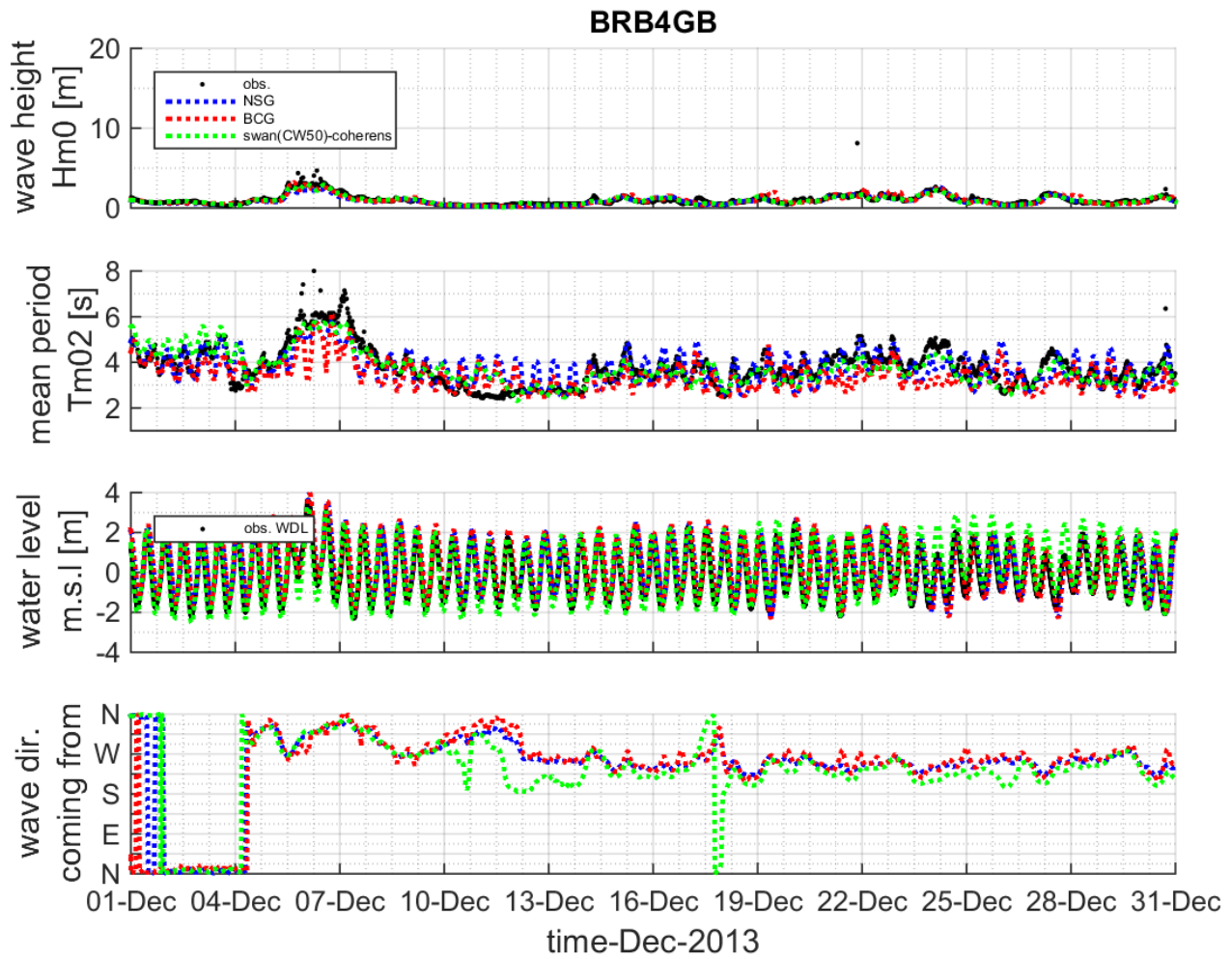
Figuur 0.1 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



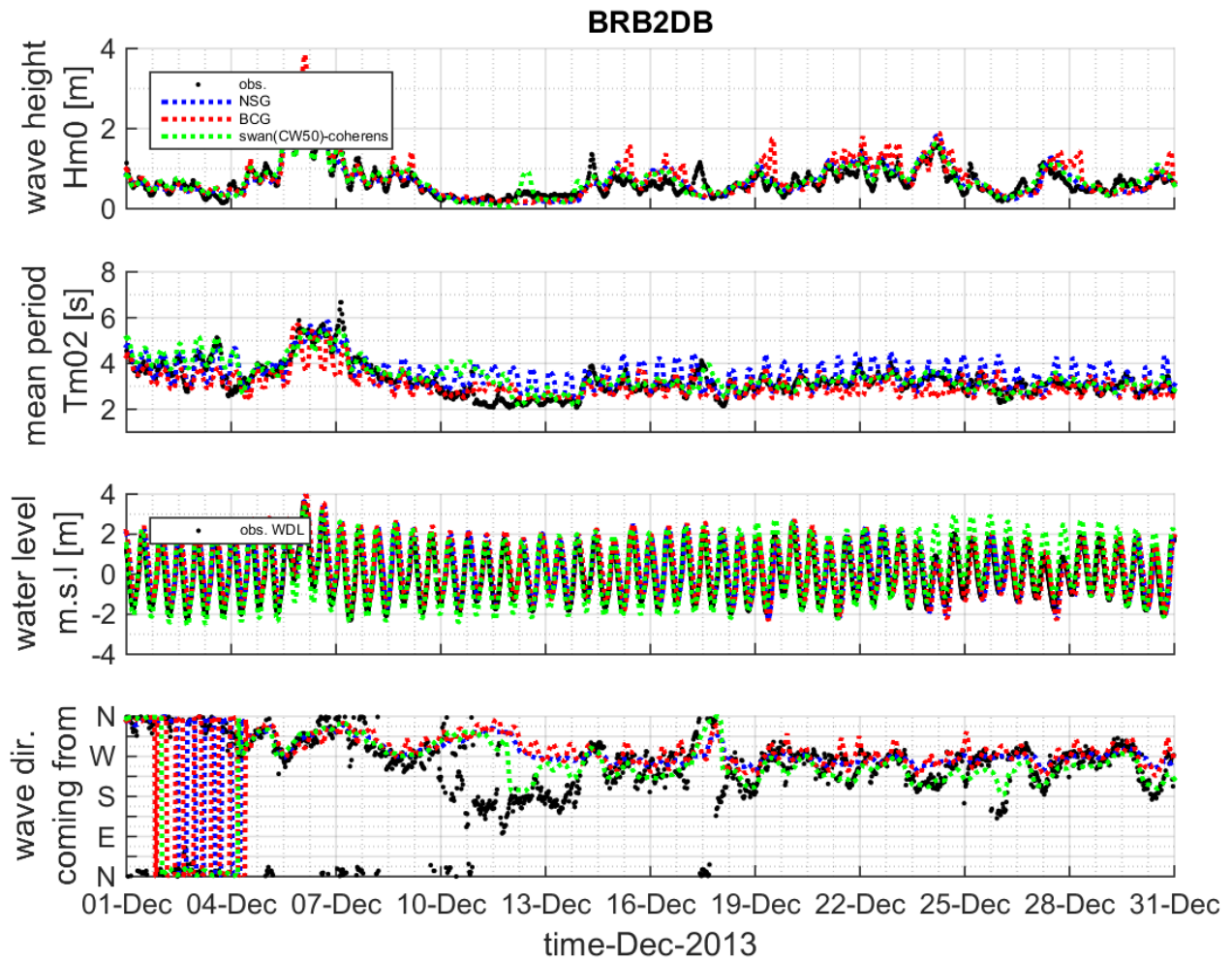
Figuur 0.2 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



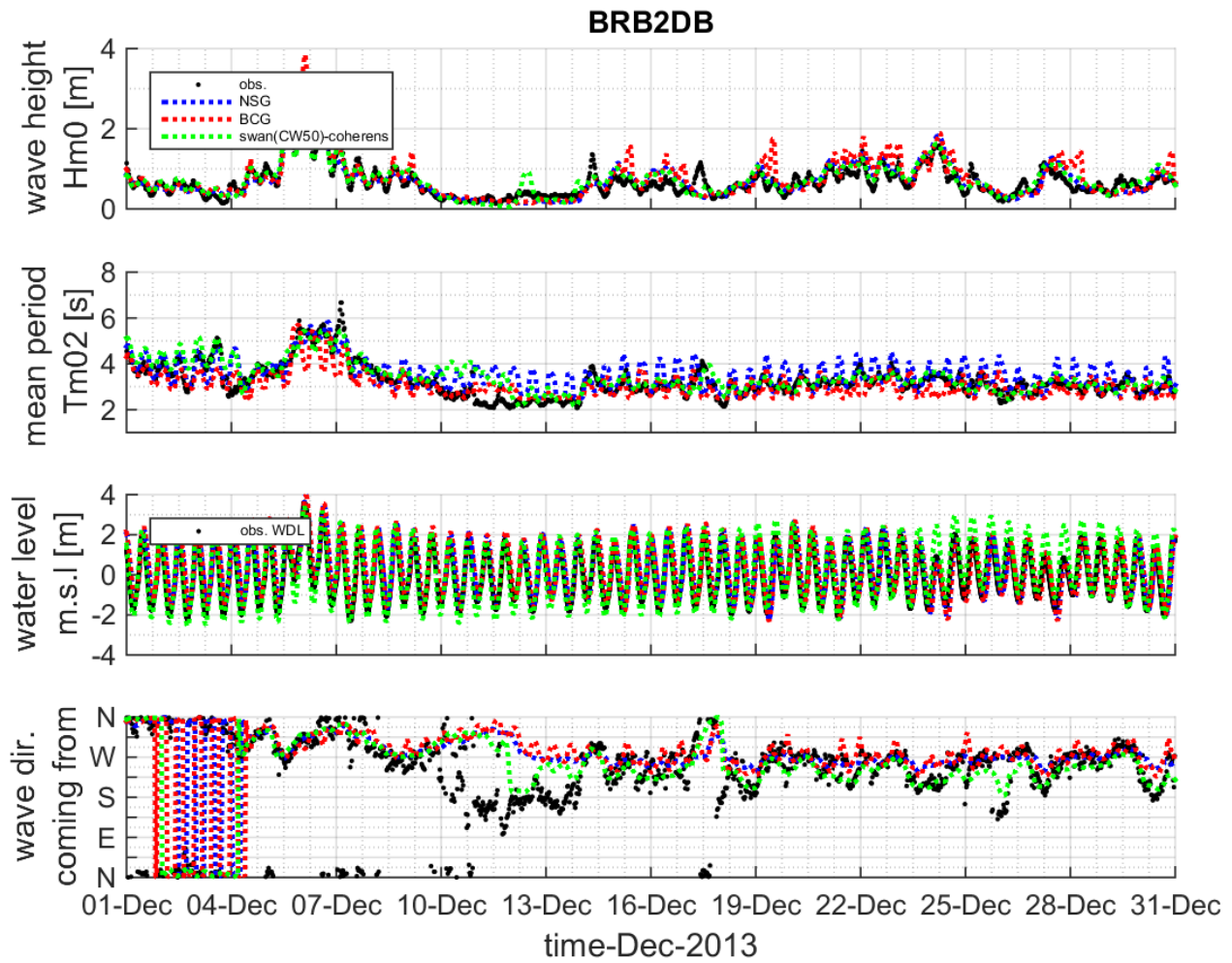
Figuur 0.3 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



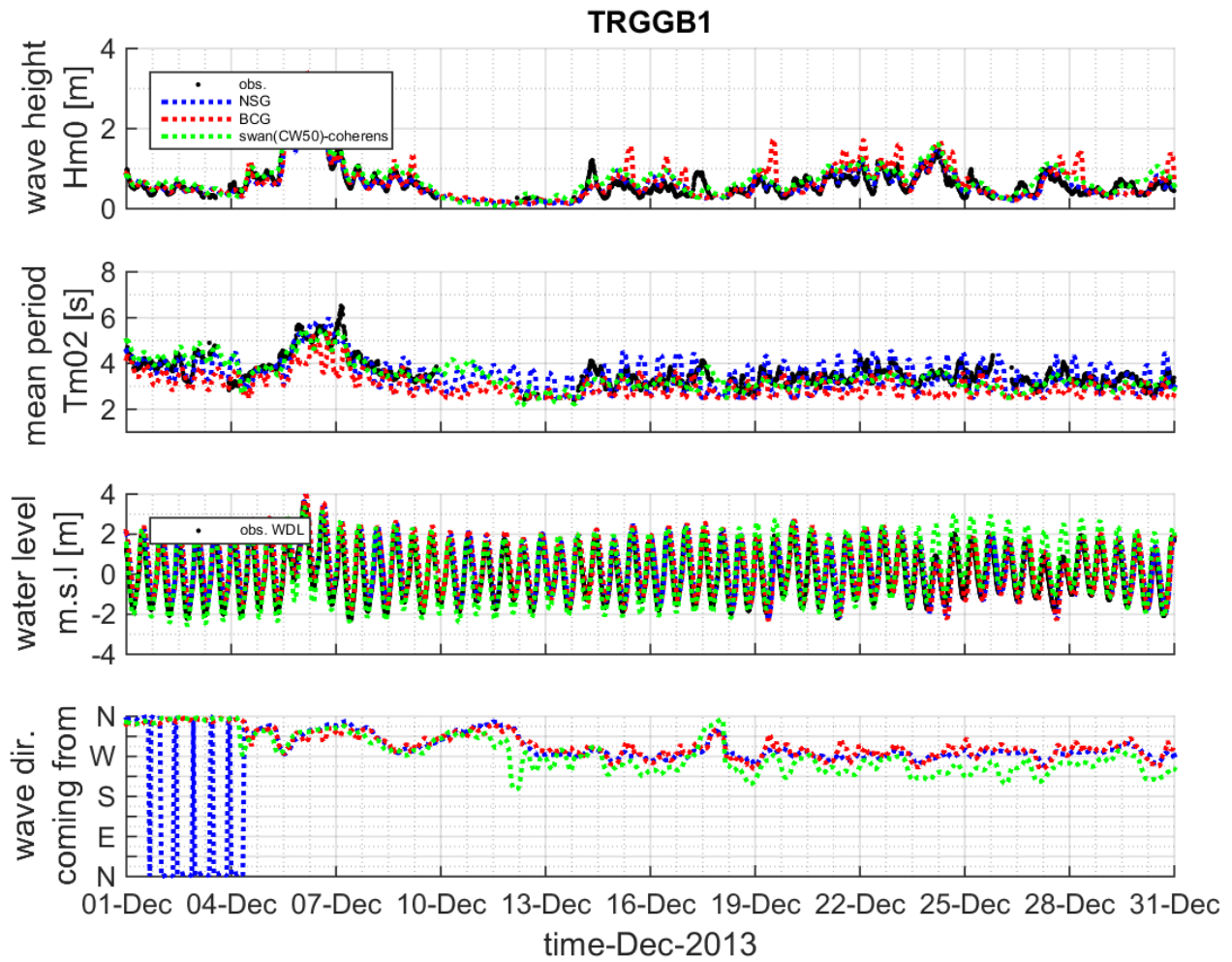
Figuur 0.4 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



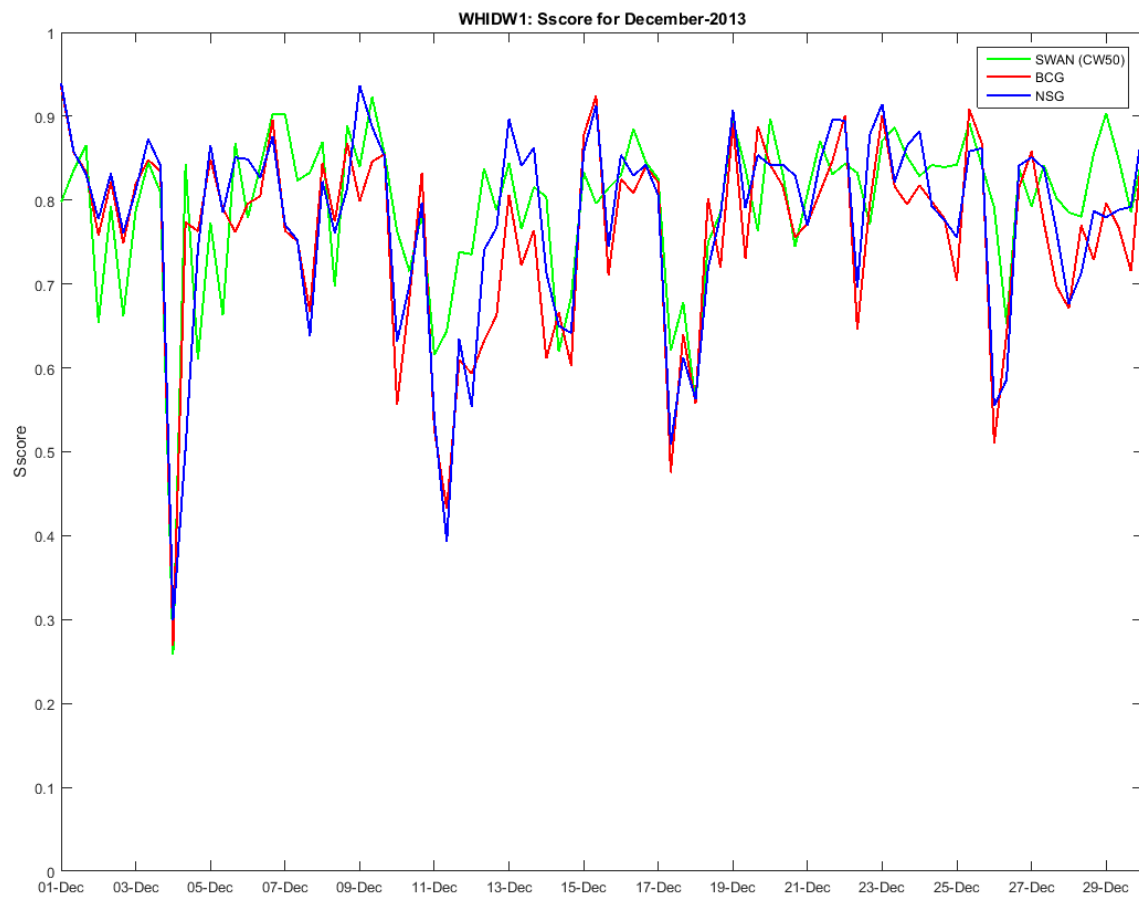
Figuur 0.5 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



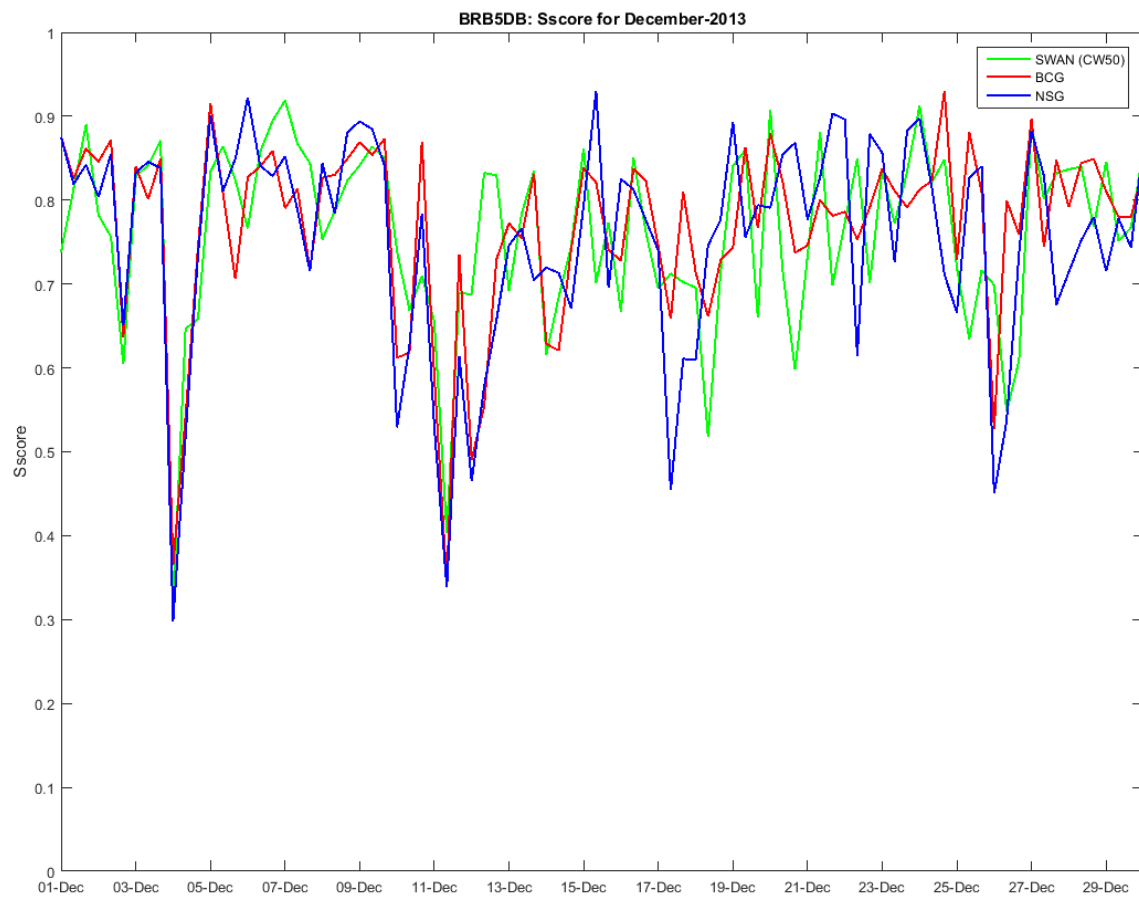
Figuur 0.6 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



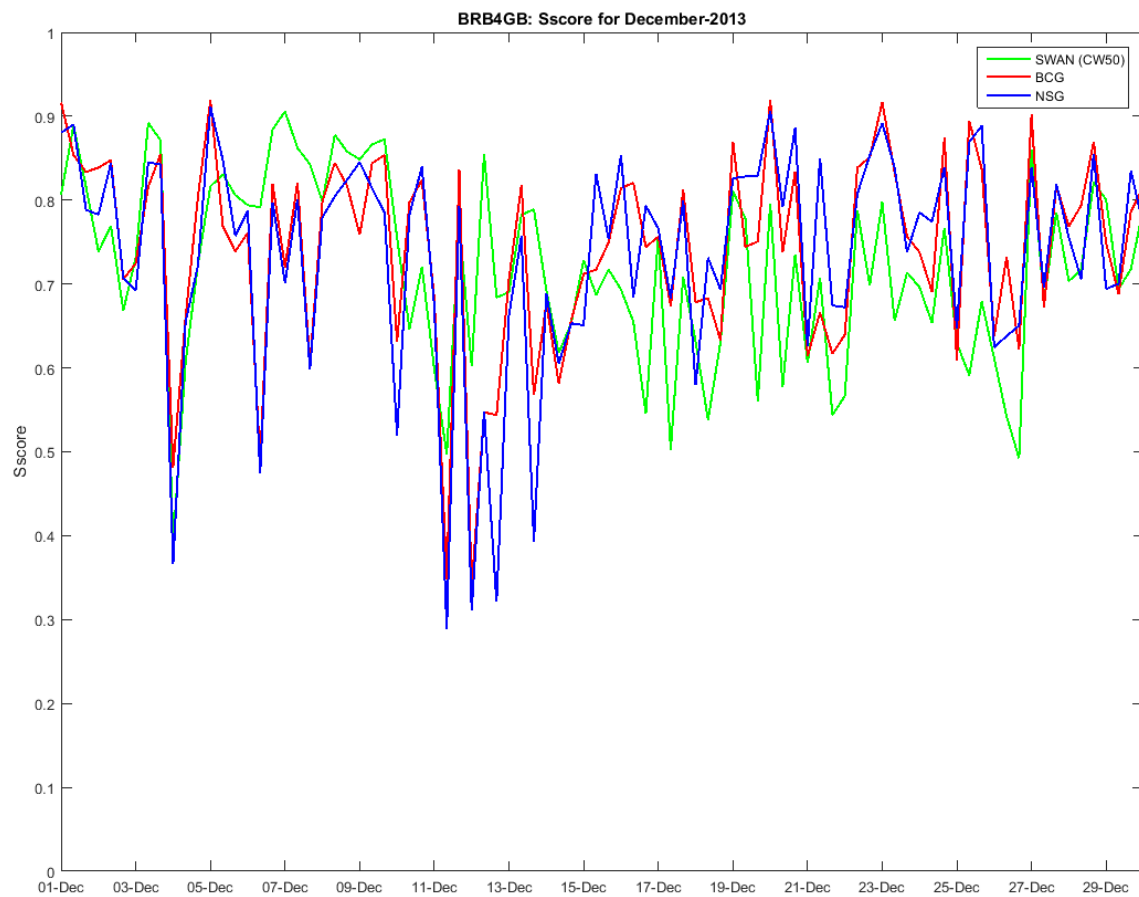
Figuur 0.7 Geïntegreerde golfparameters voor december 2013 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



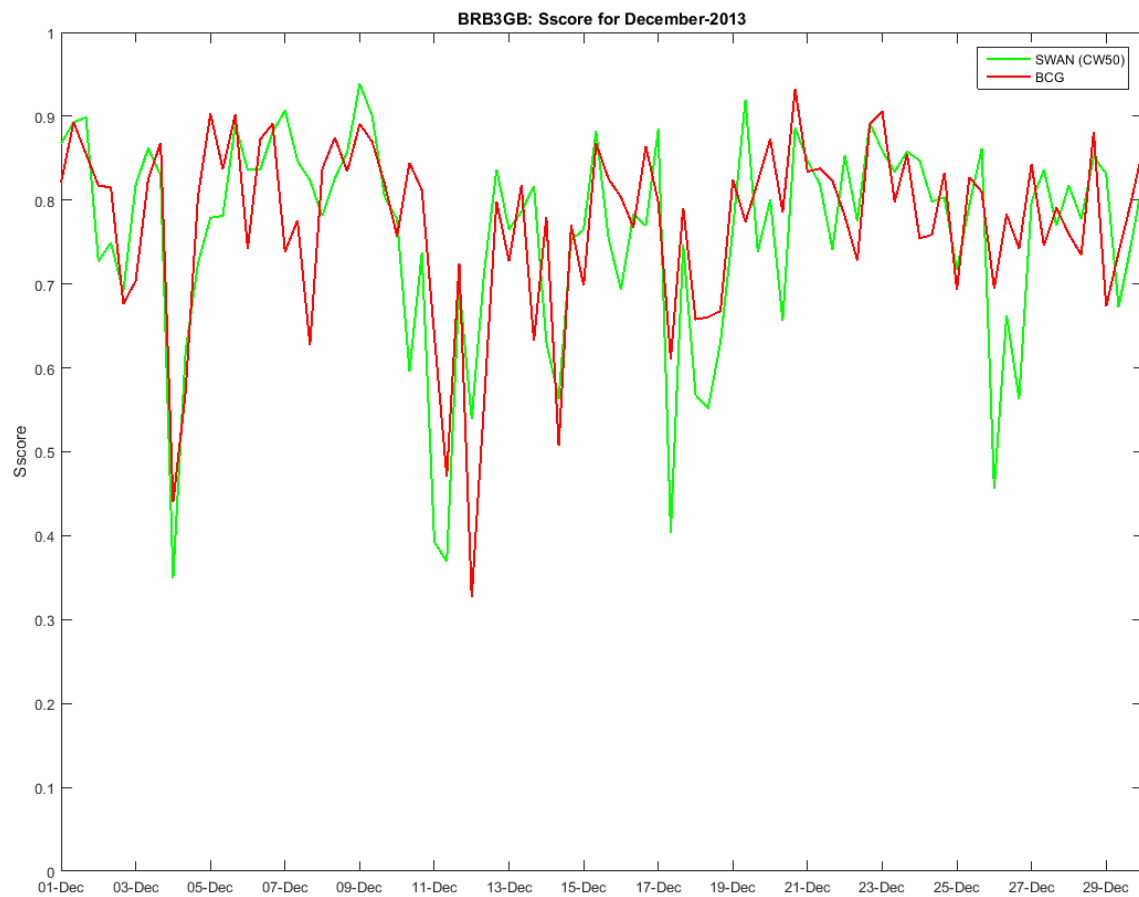
Figuur 0.8 De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.



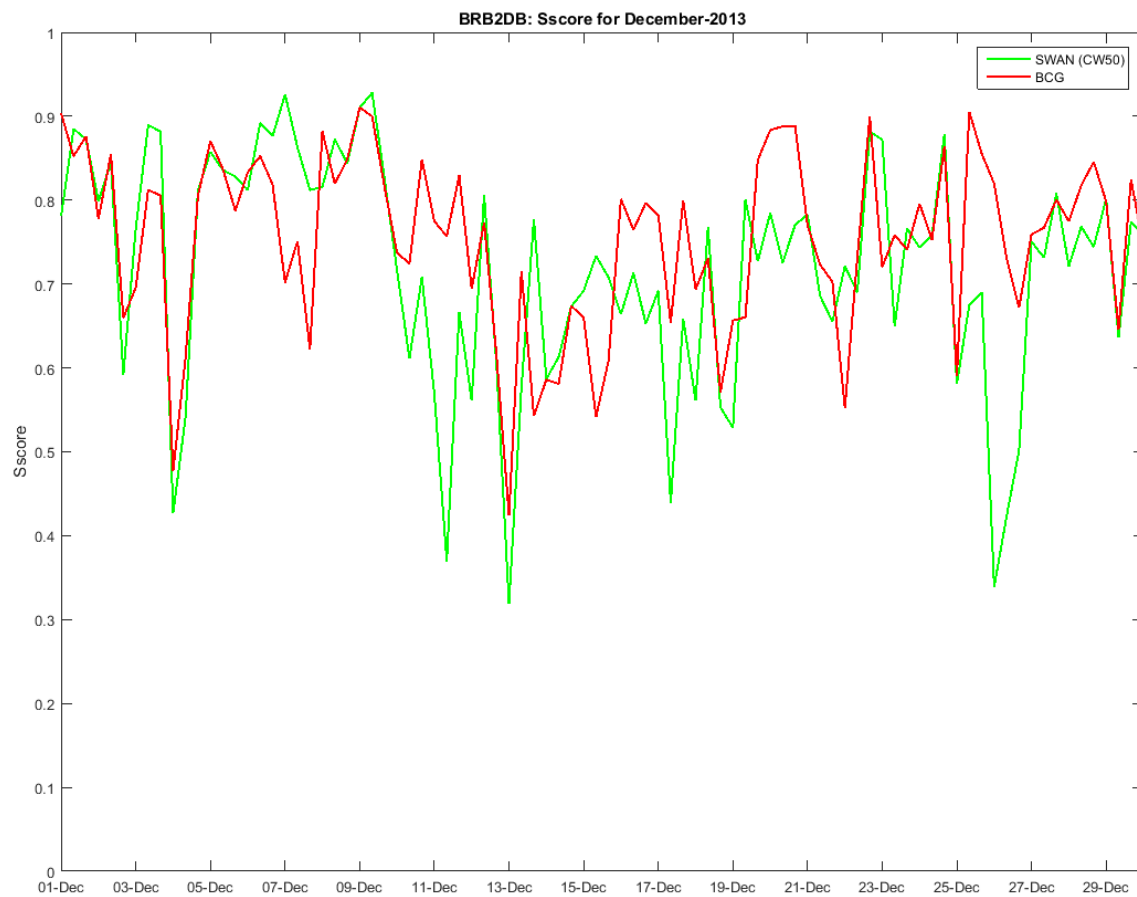
Figuur 0.9De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.



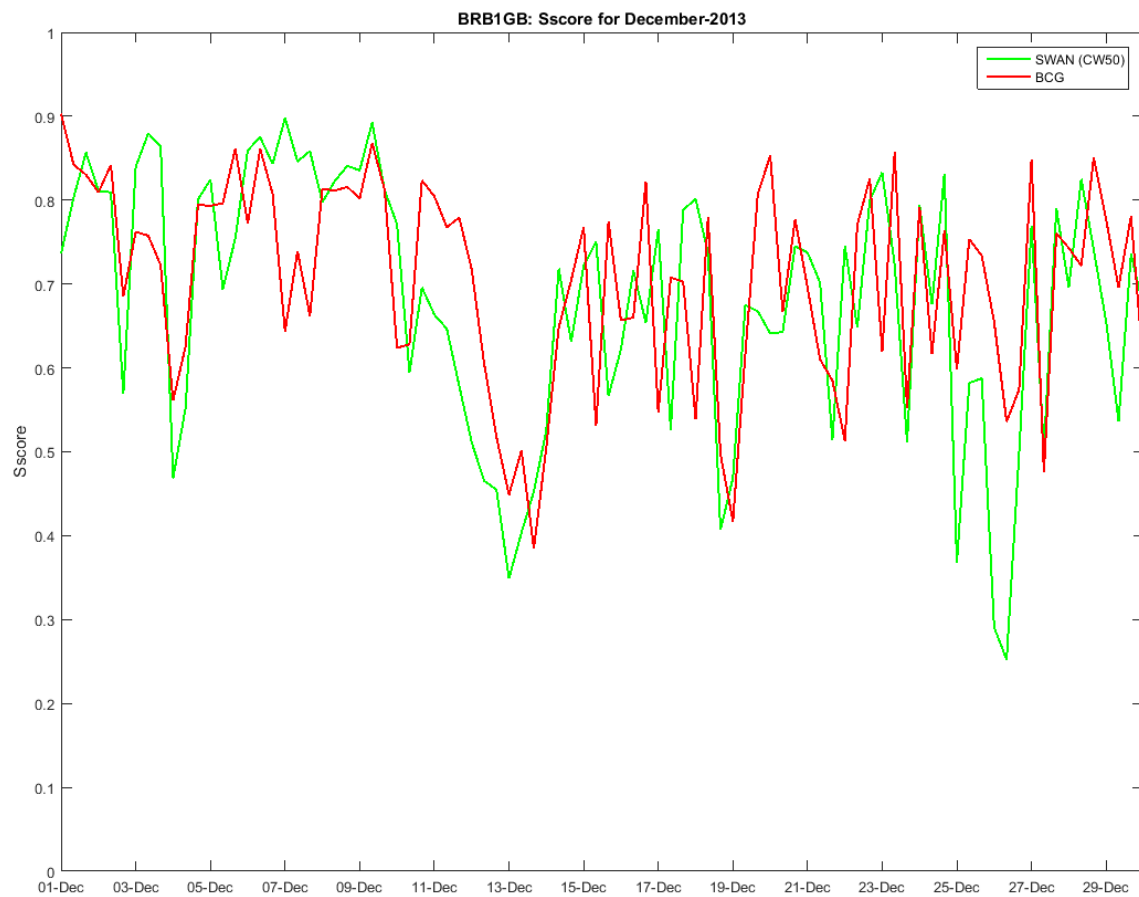
Figuur 0.10De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.



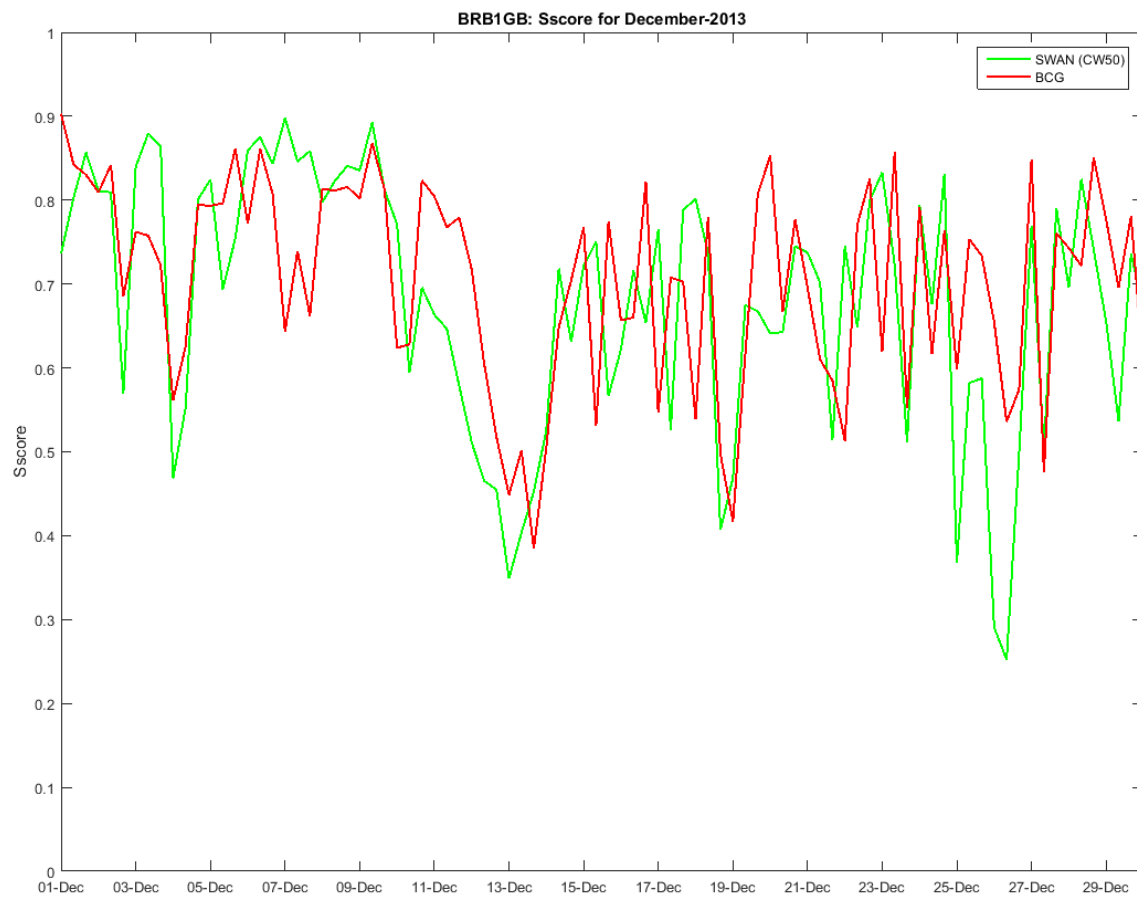
Figuur 0.11 De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.



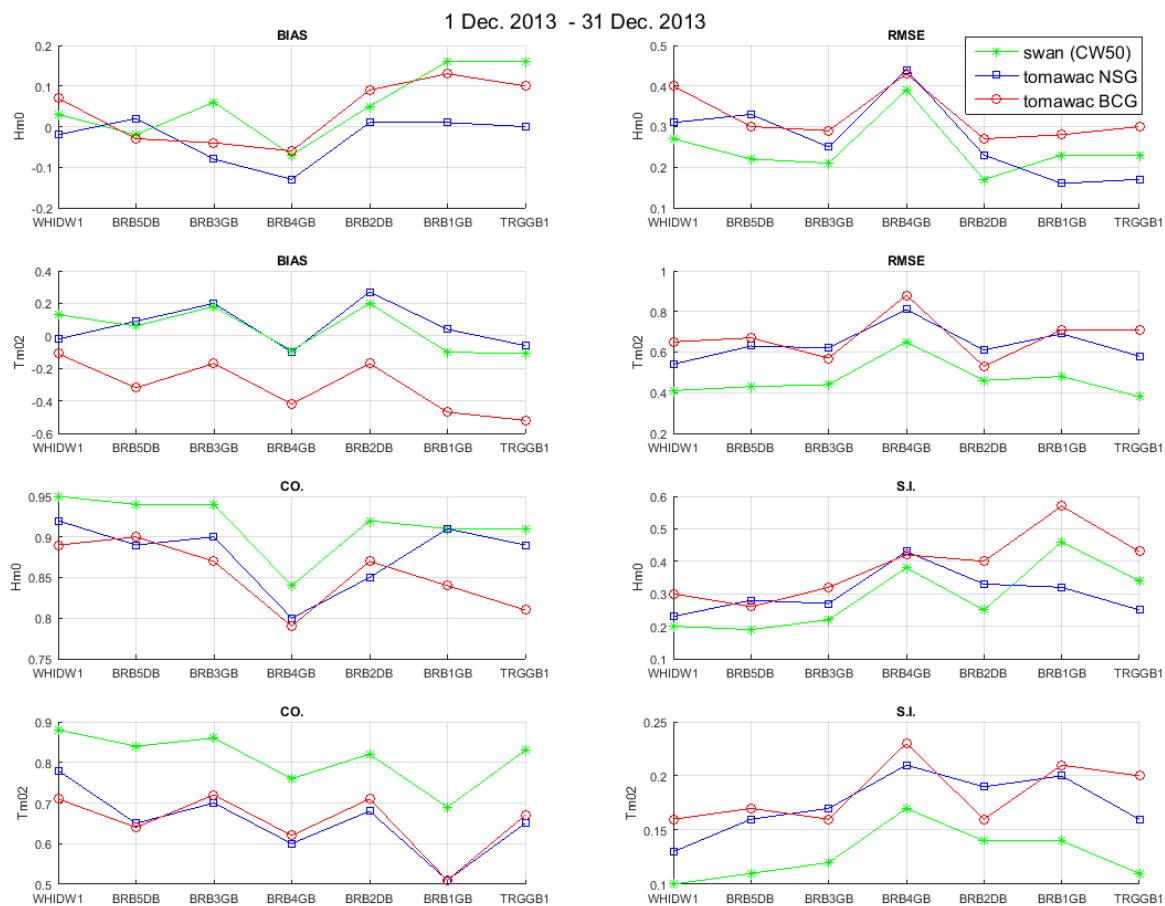
Figuur 0.12 De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.



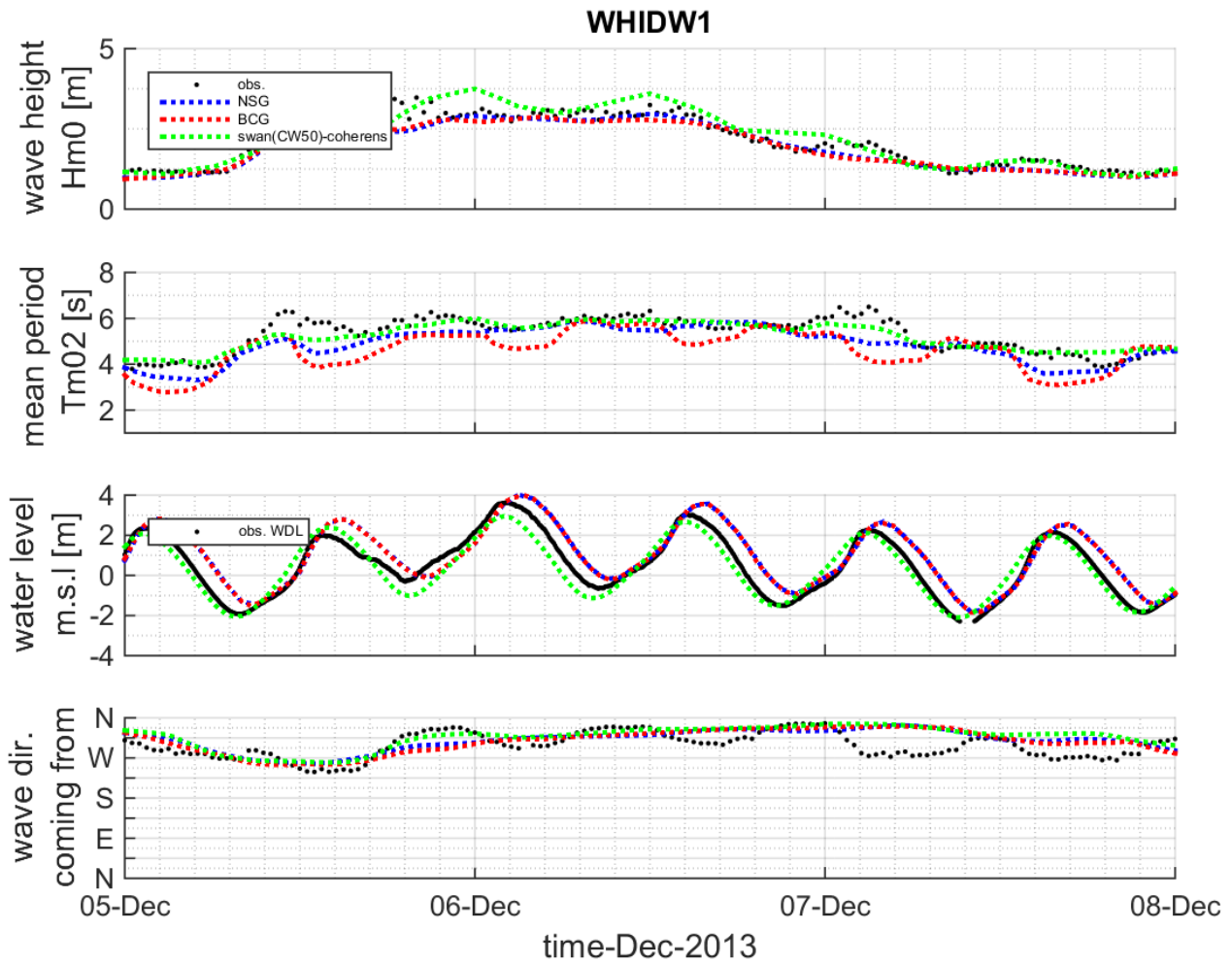
Figuur 0.13De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.



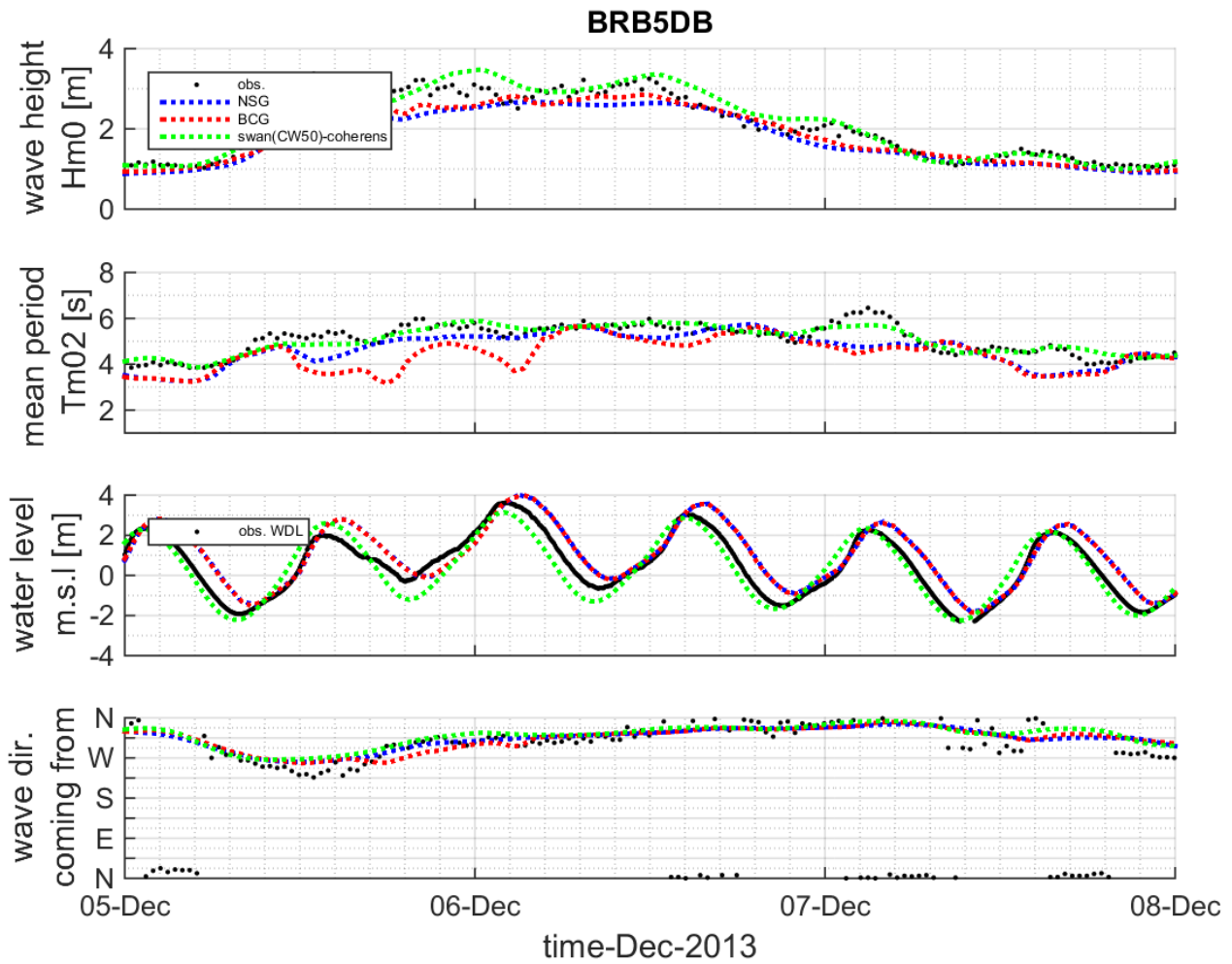
Figuur 0.14De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.



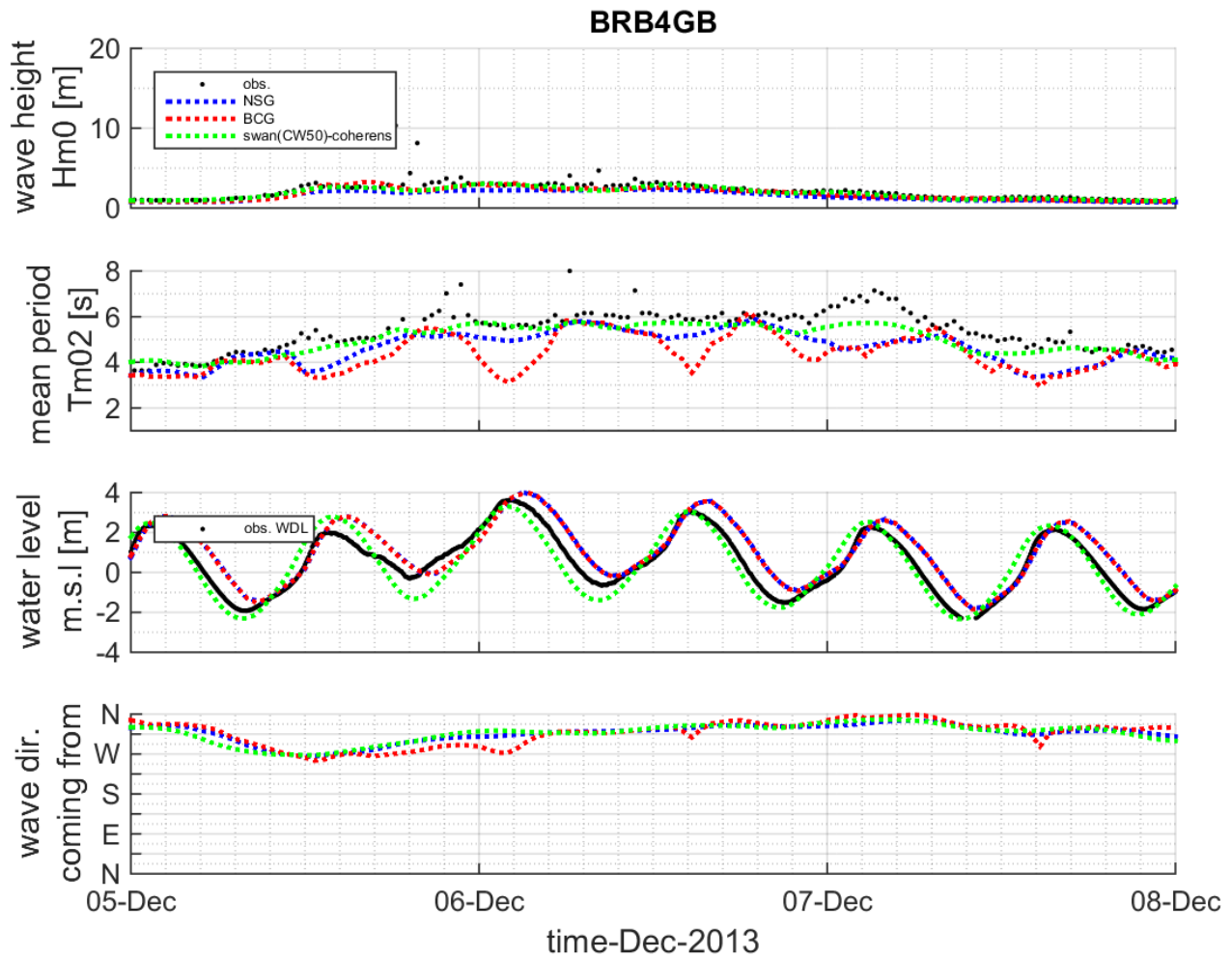
Figuur 0.15 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor december 2013 en dit voor alle boeien.



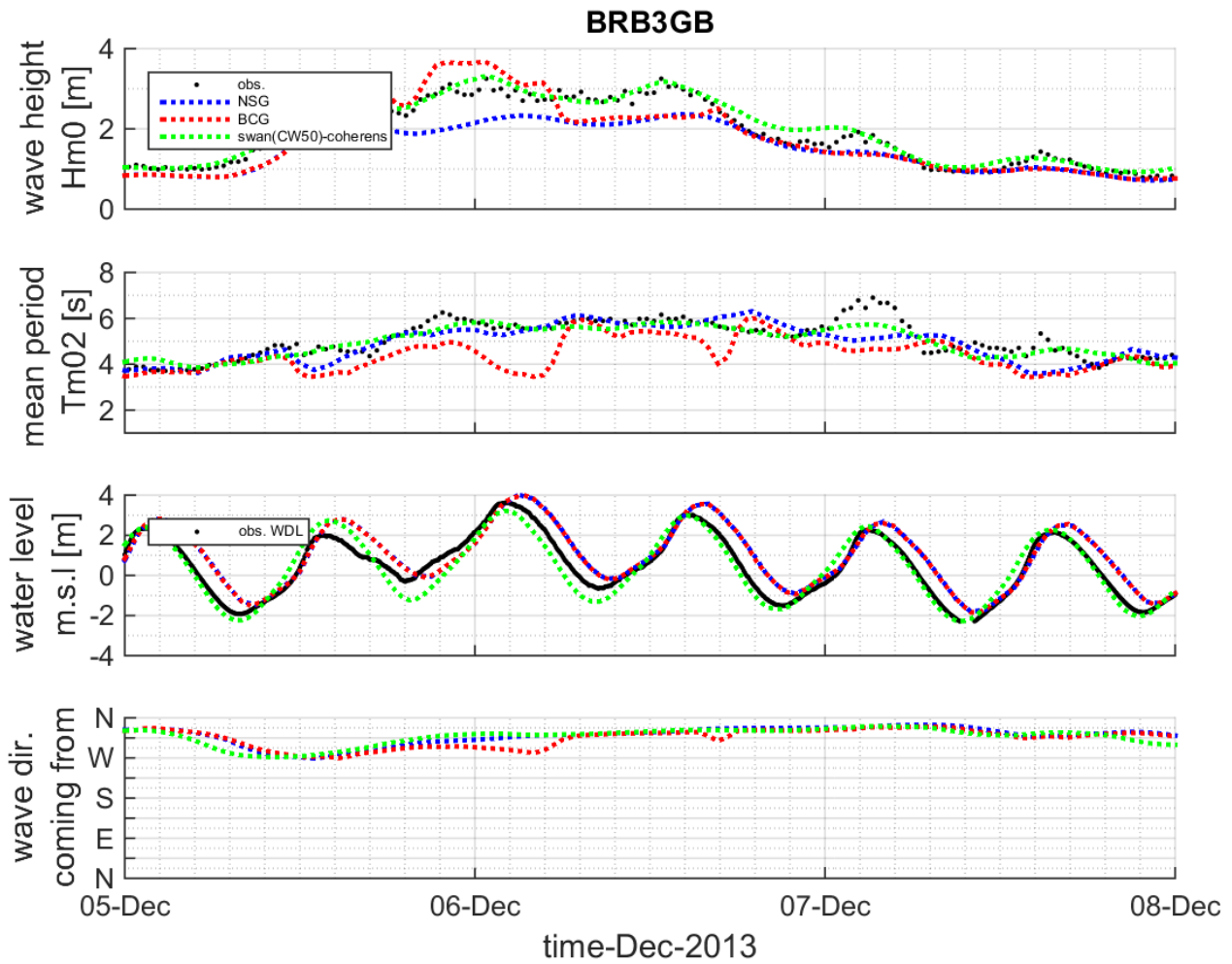
Figuur 0.16 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



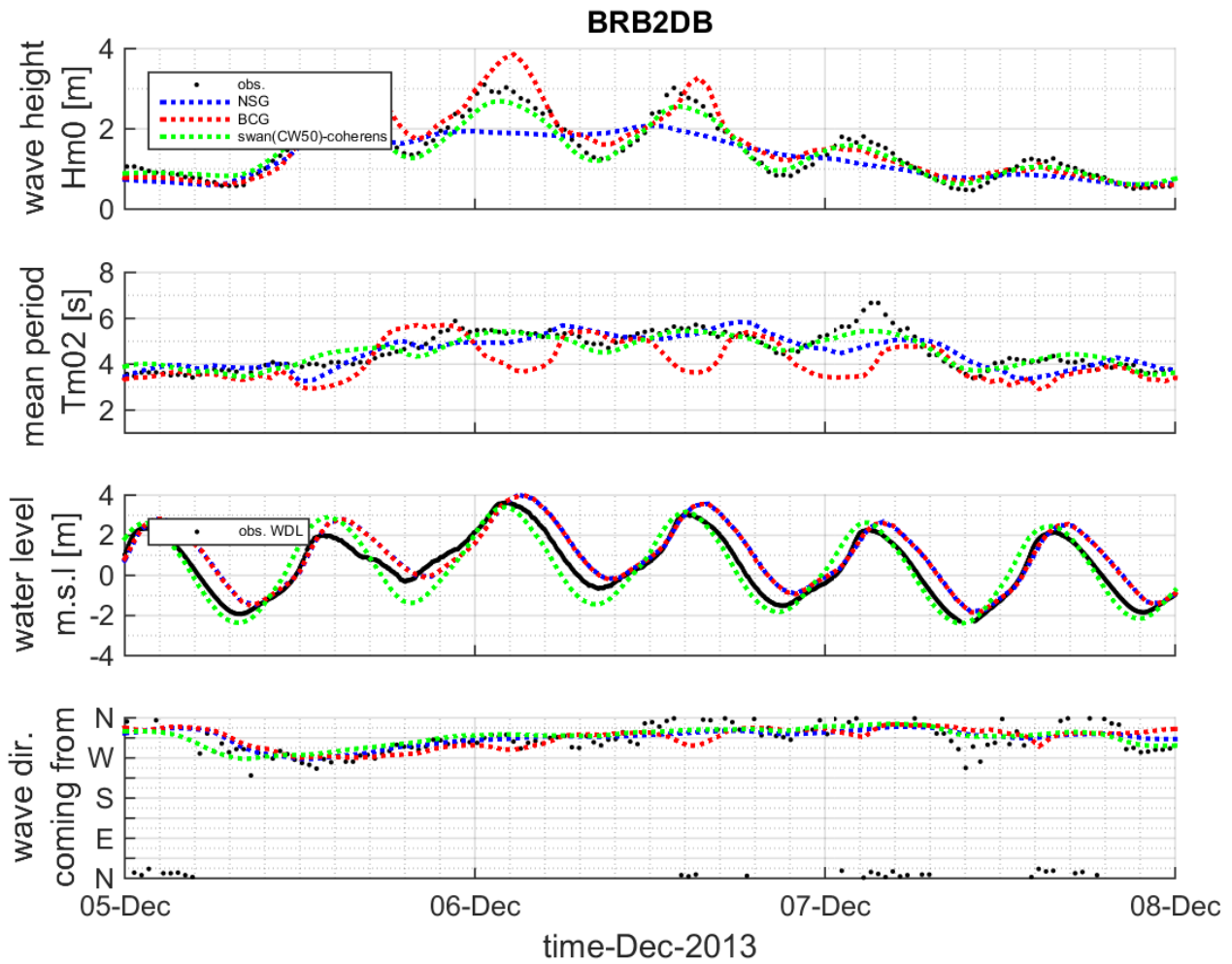
Figuur 0.17 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



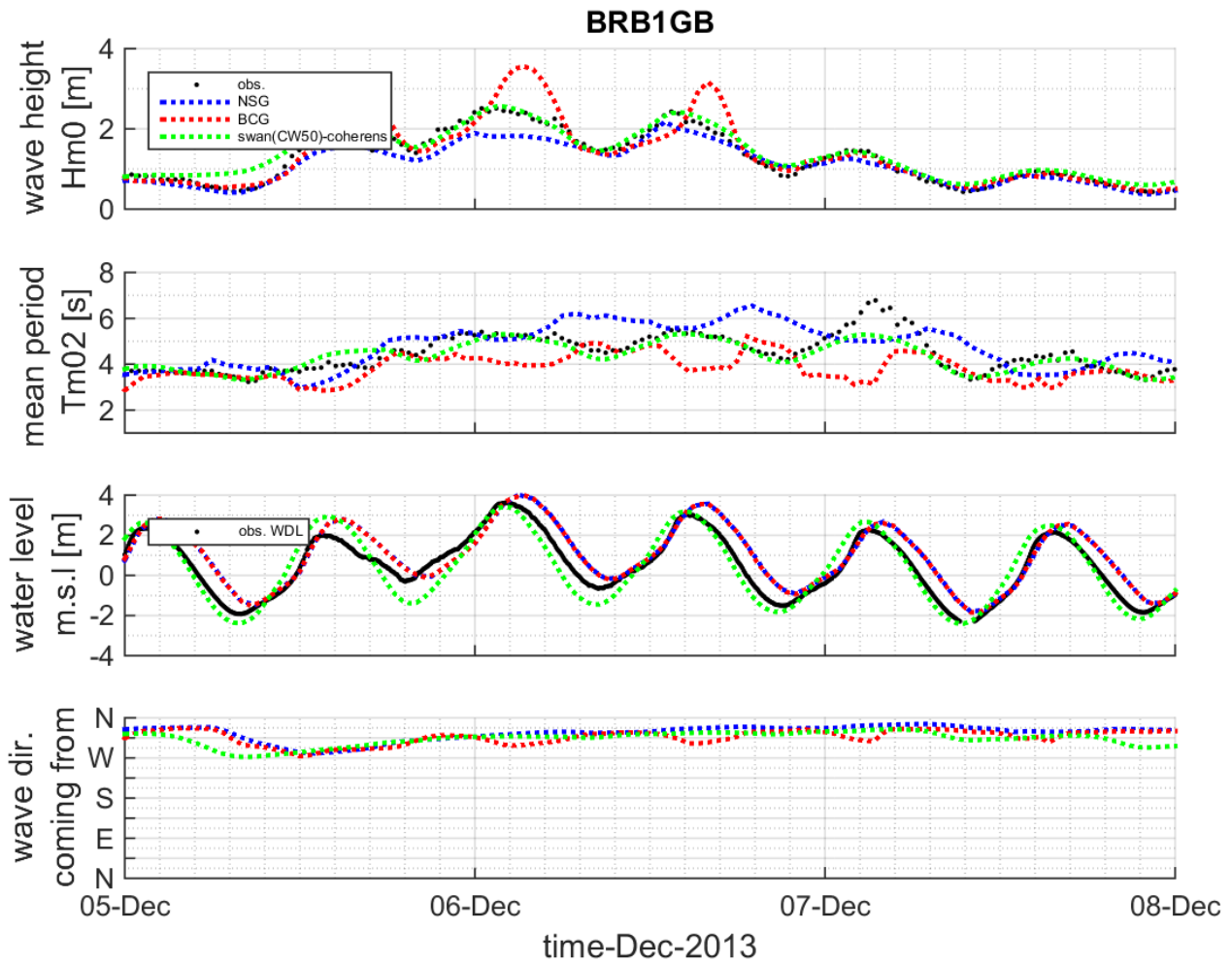
Figuur 0.18 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



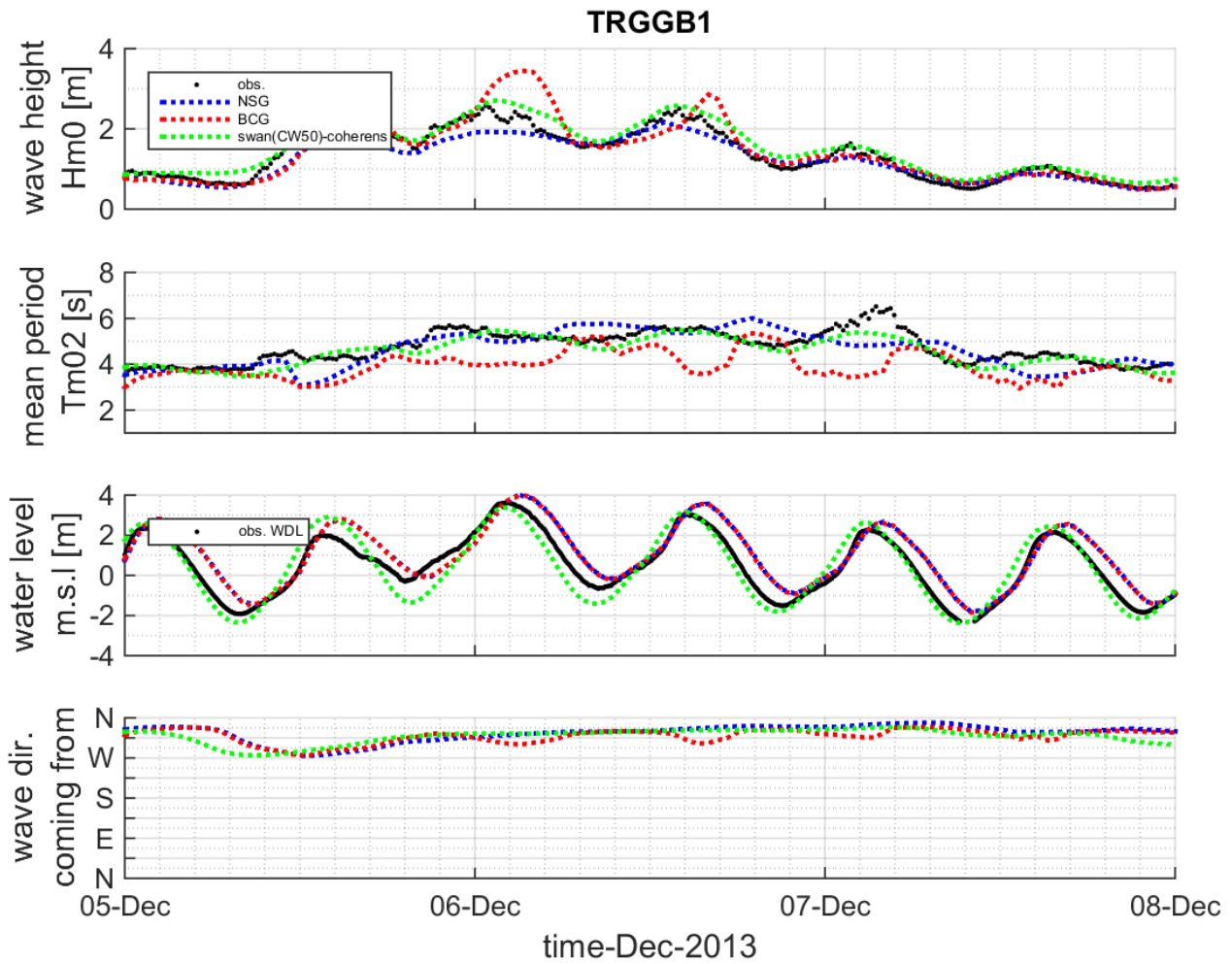
Figuur 0.19 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



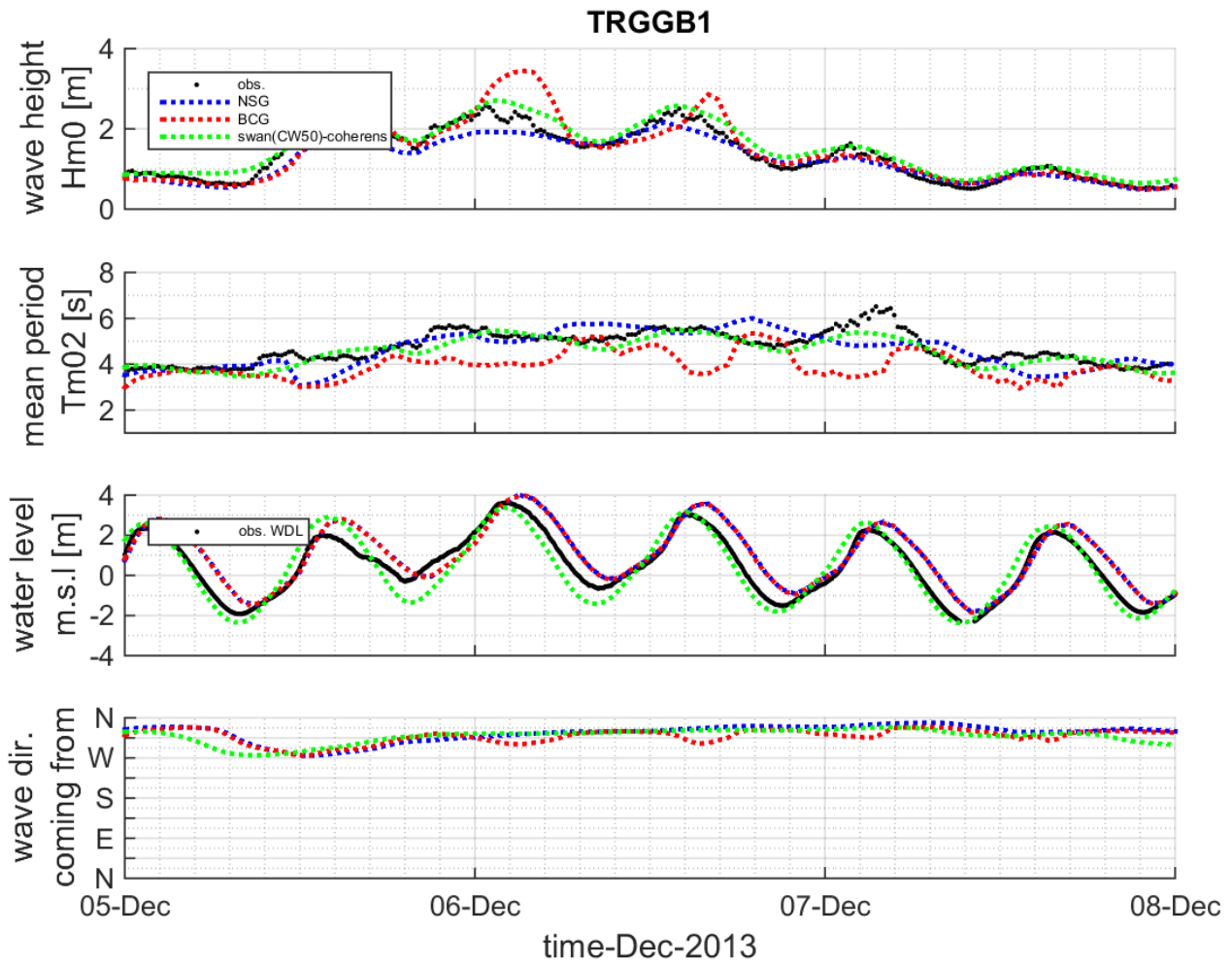
Figuur 0.20 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



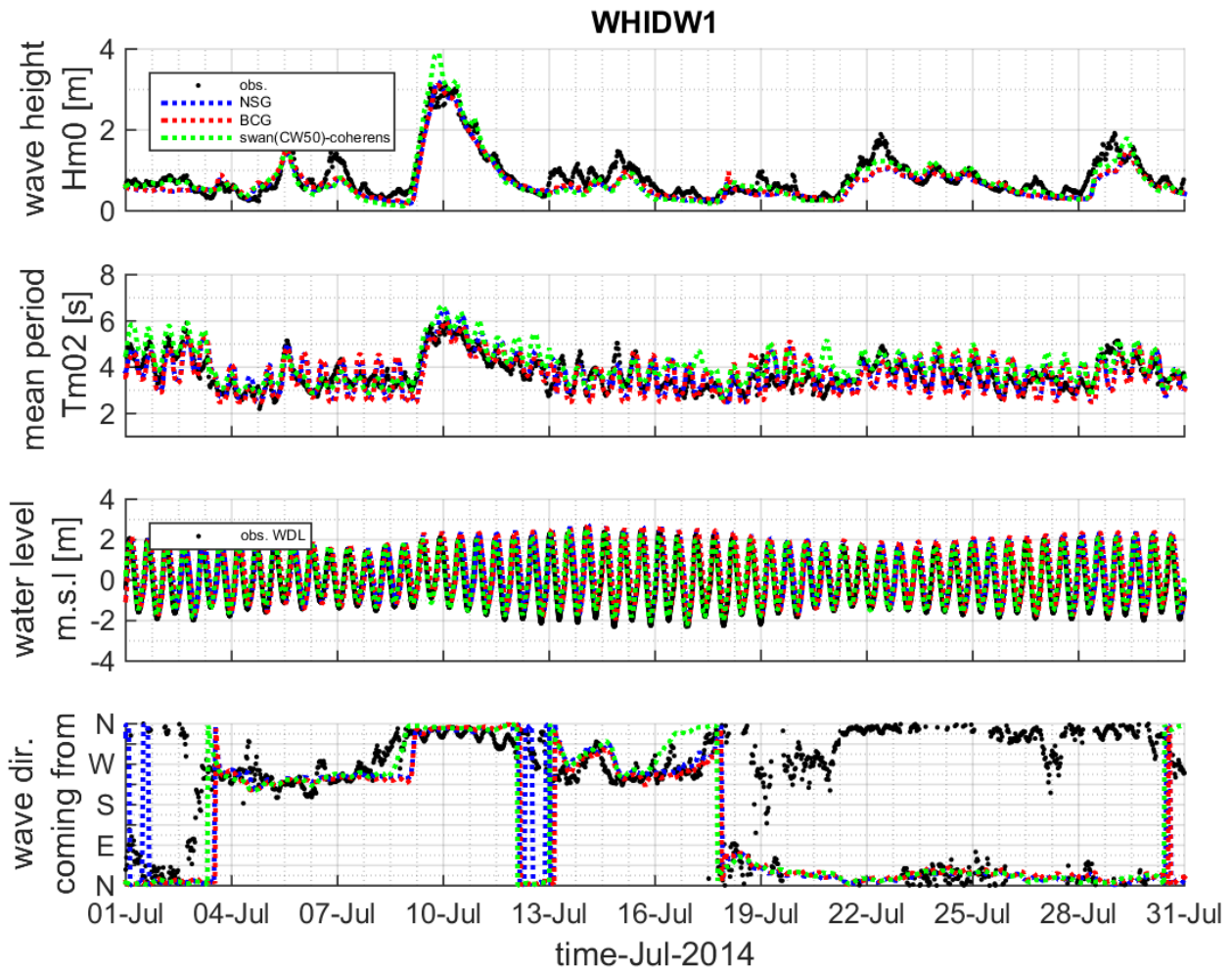
Figuur 0.21 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



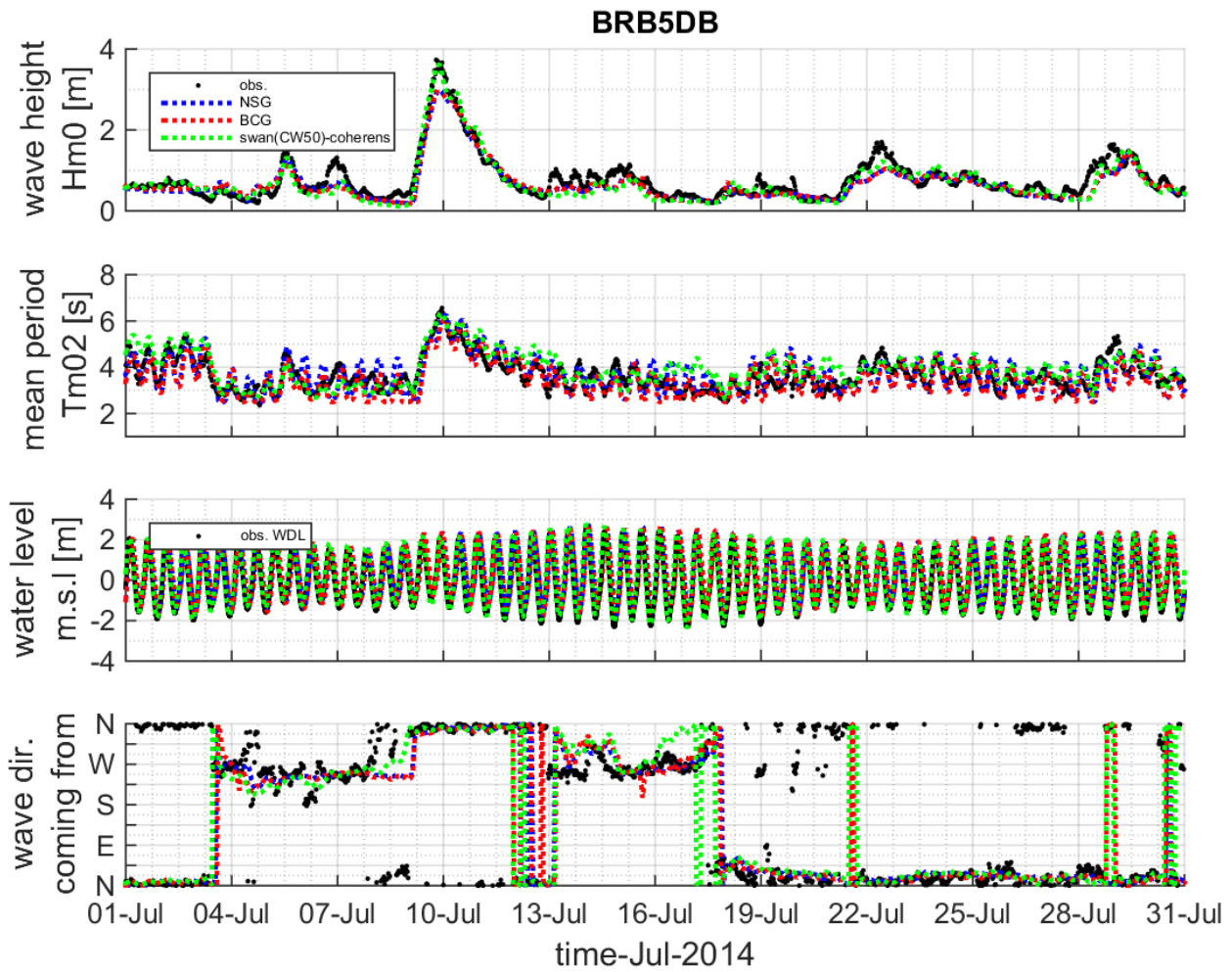
Figuur 0.22 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



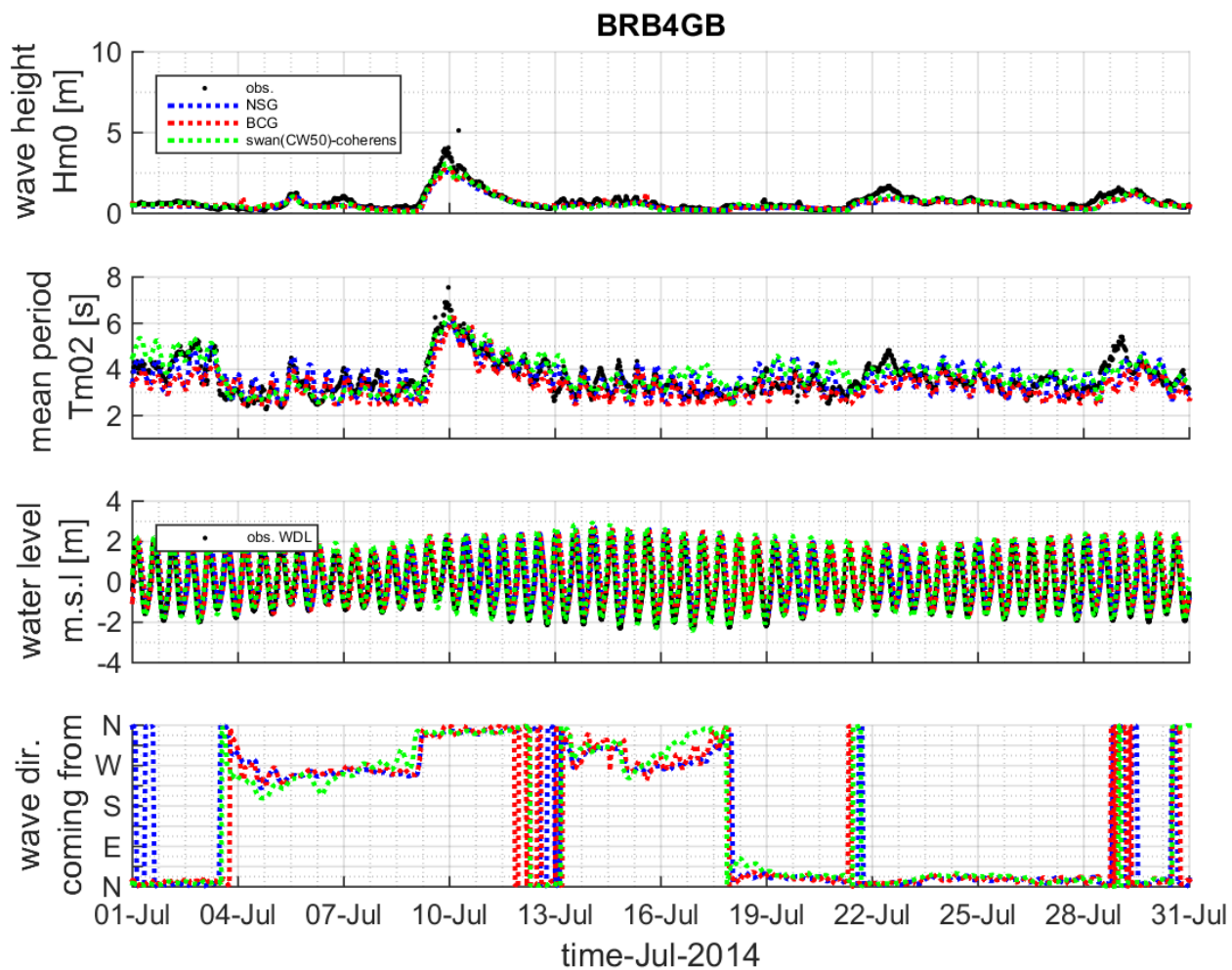
Figuur 0.23 Geïntegreerde golfparameters voor de Sinterklaasstorm in december 2013 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



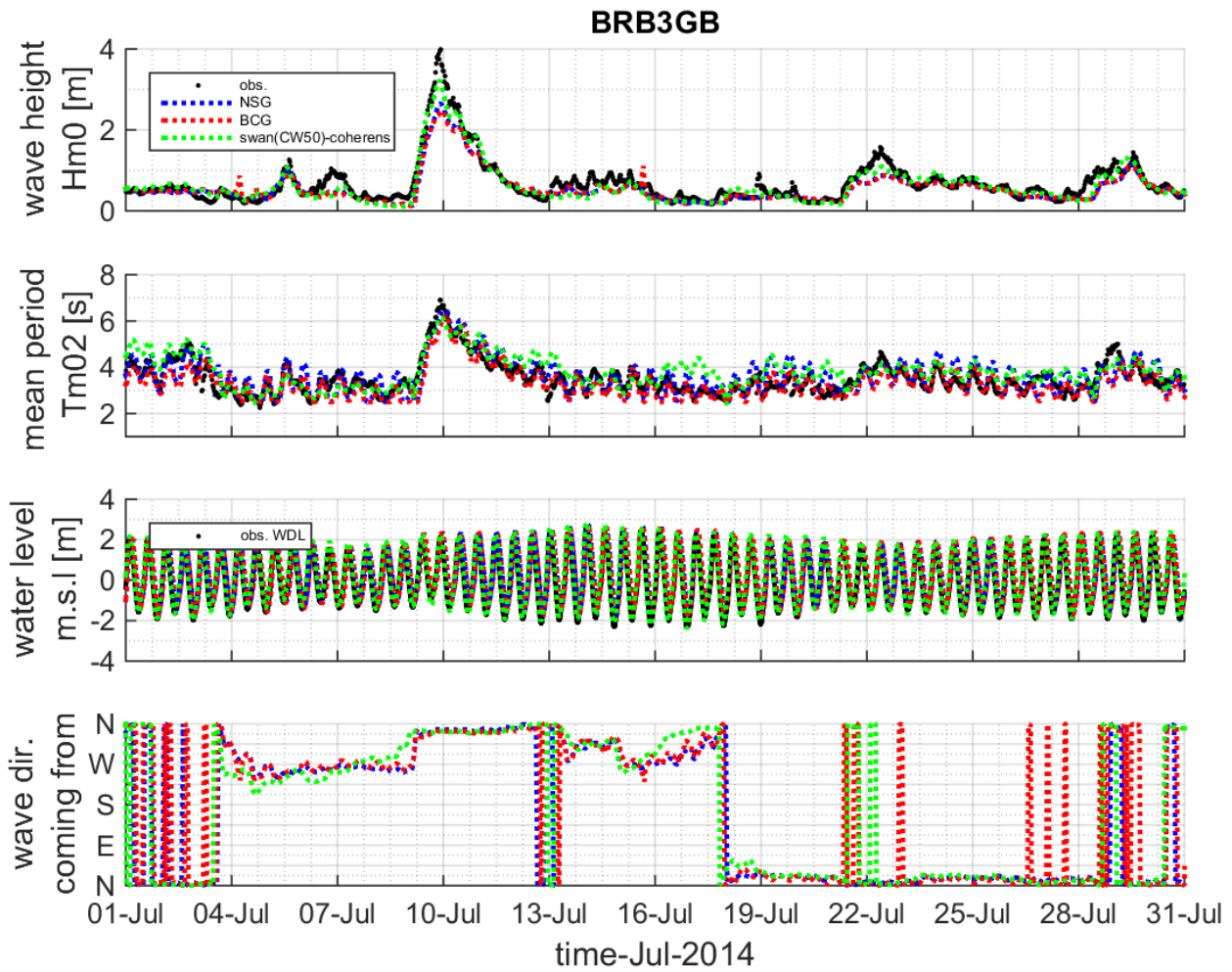
Figuur 0.24 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



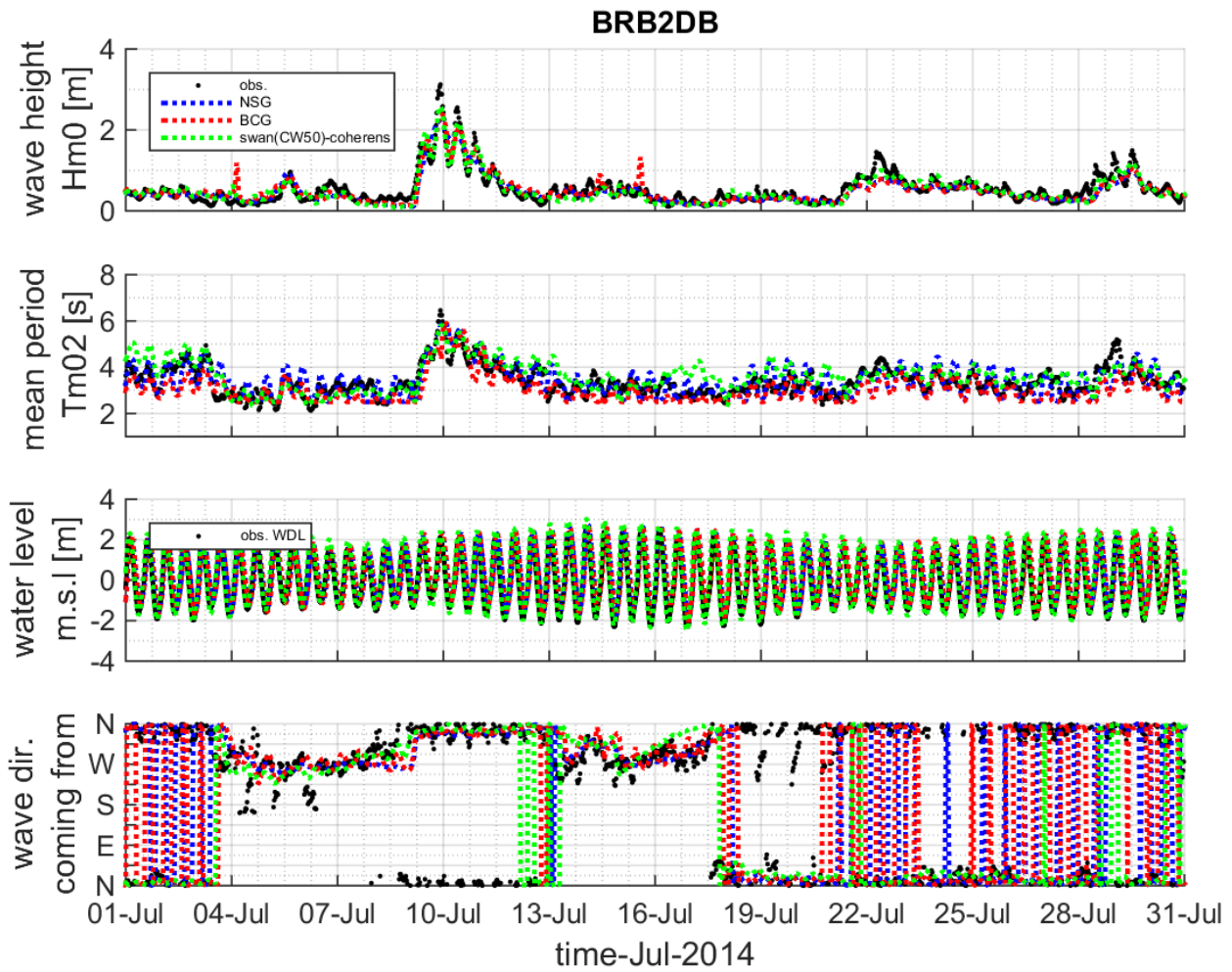
Figuur 0.25 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



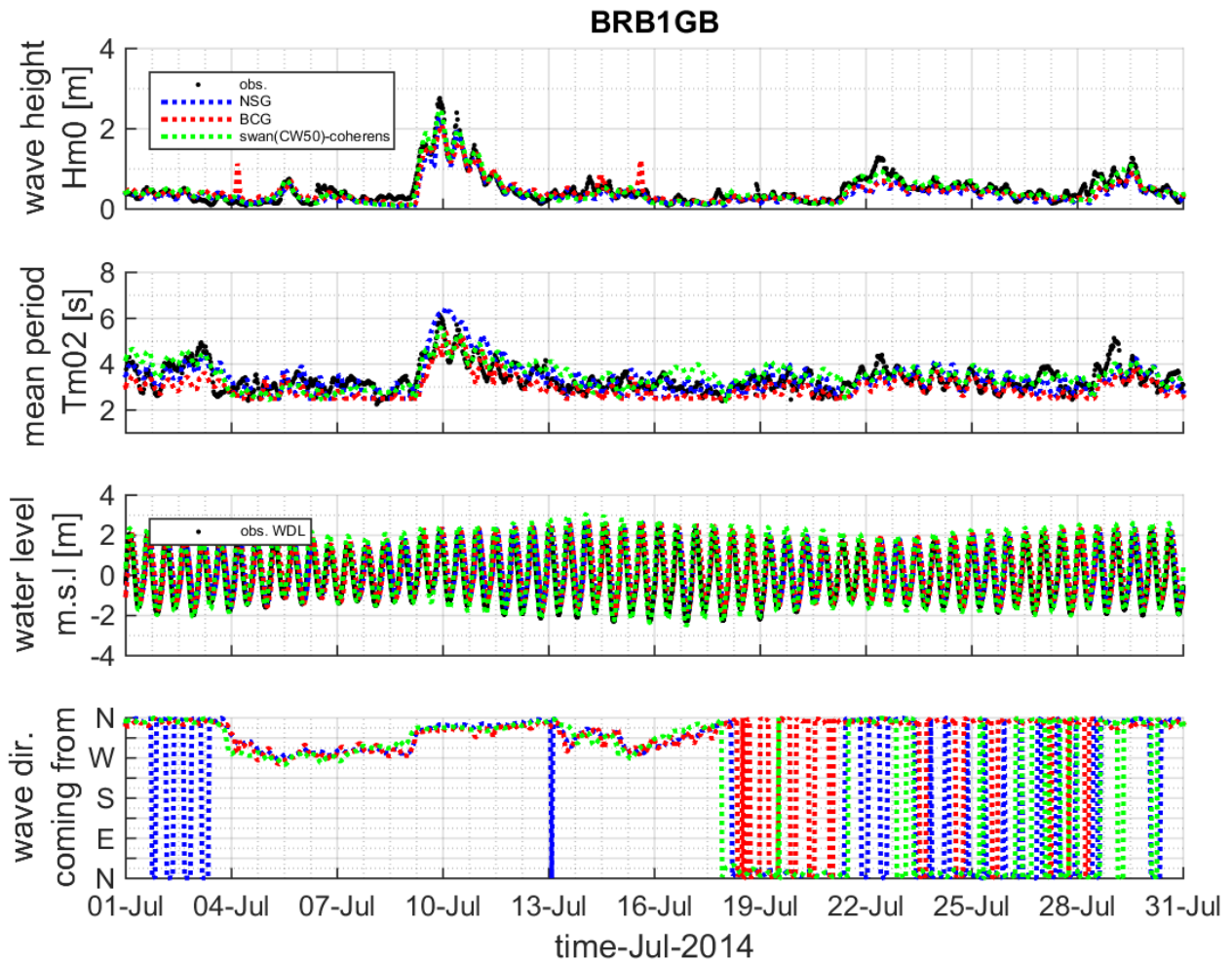
Figuur 0.26 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



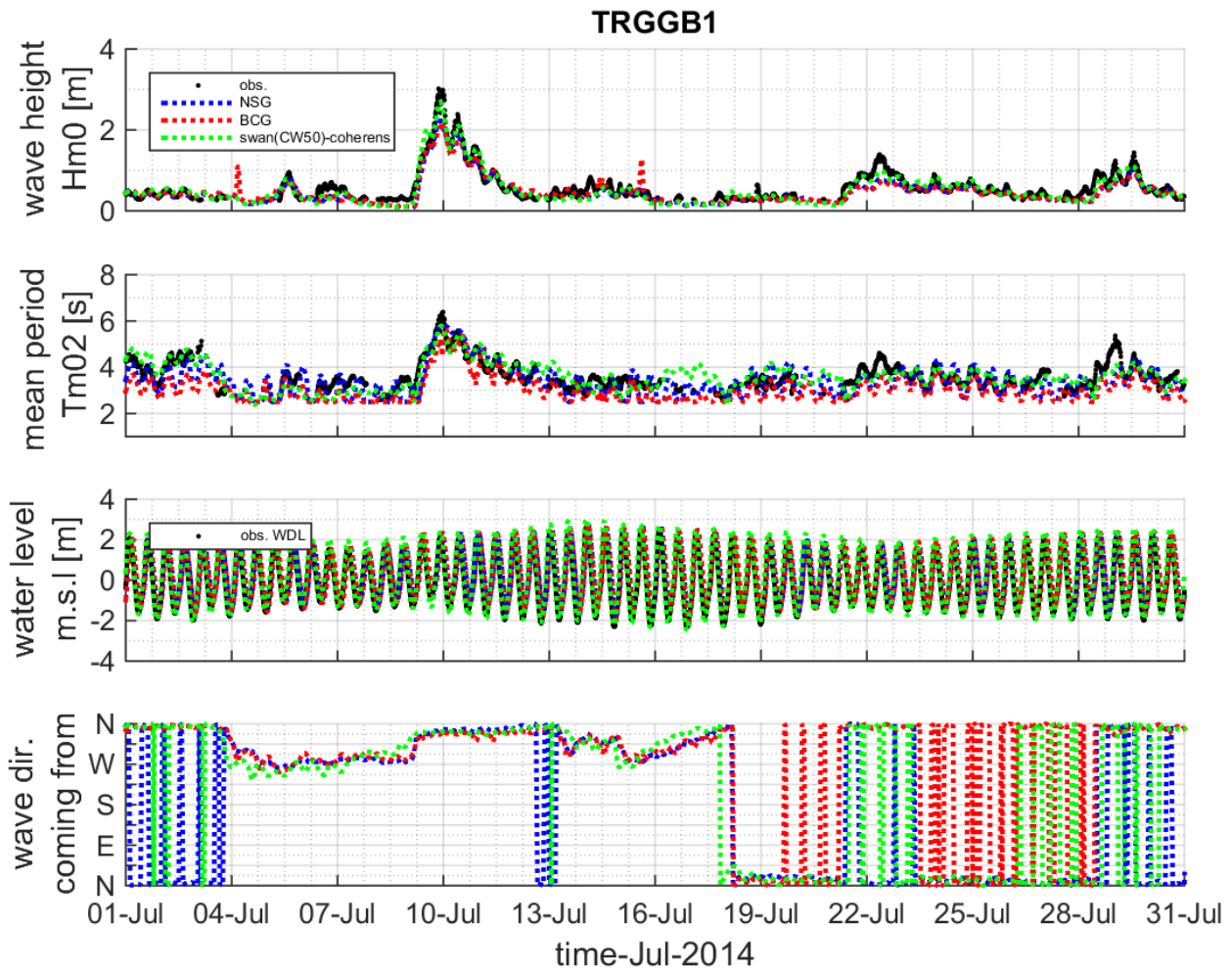
Figuur 0.27 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



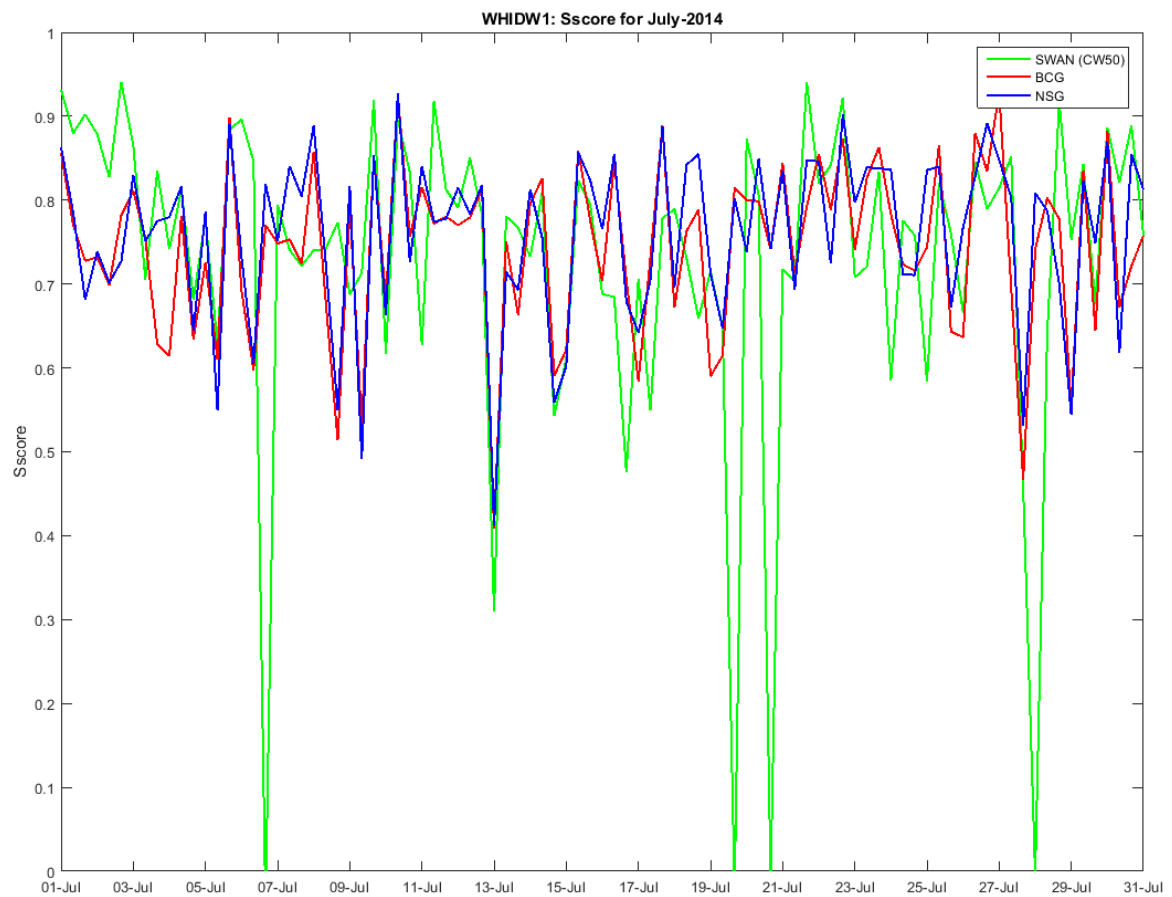
Figuur 0.28 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



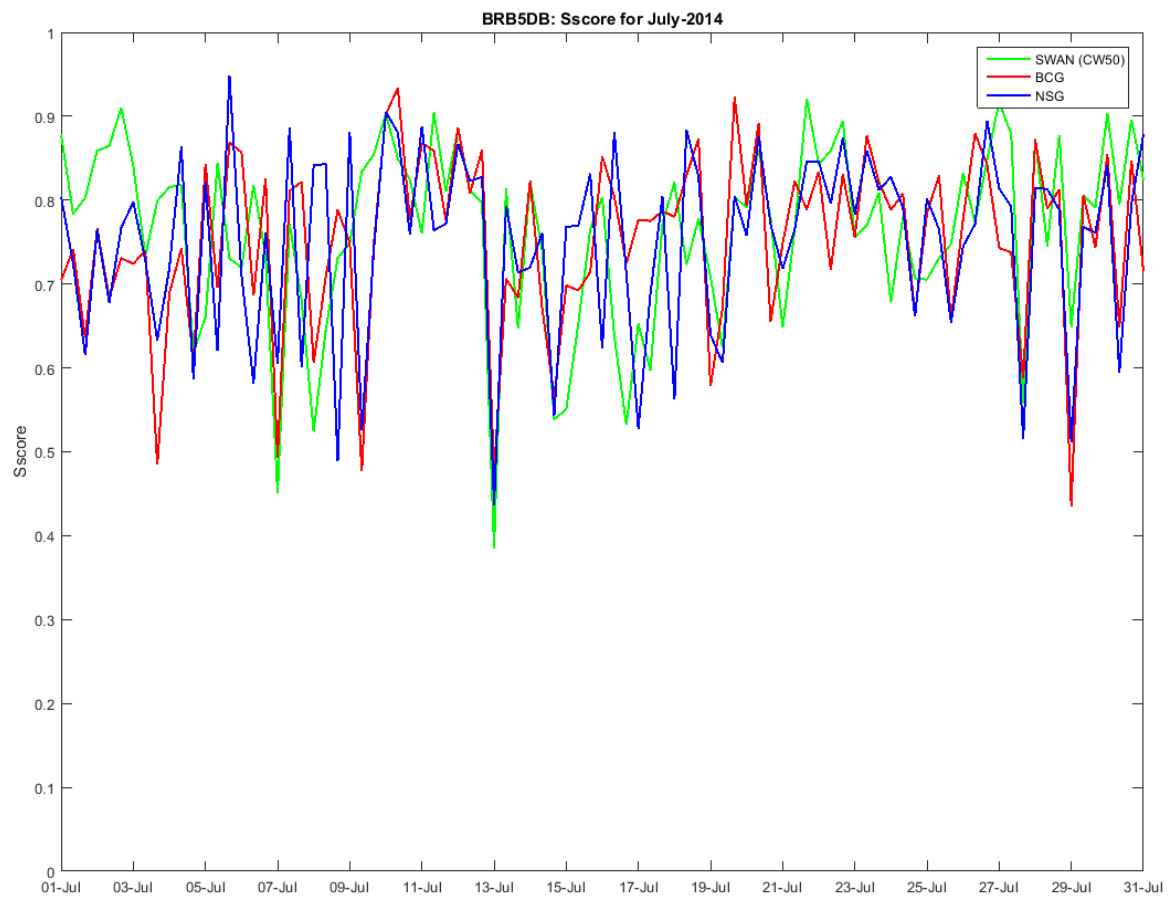
Figuur 0.29 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



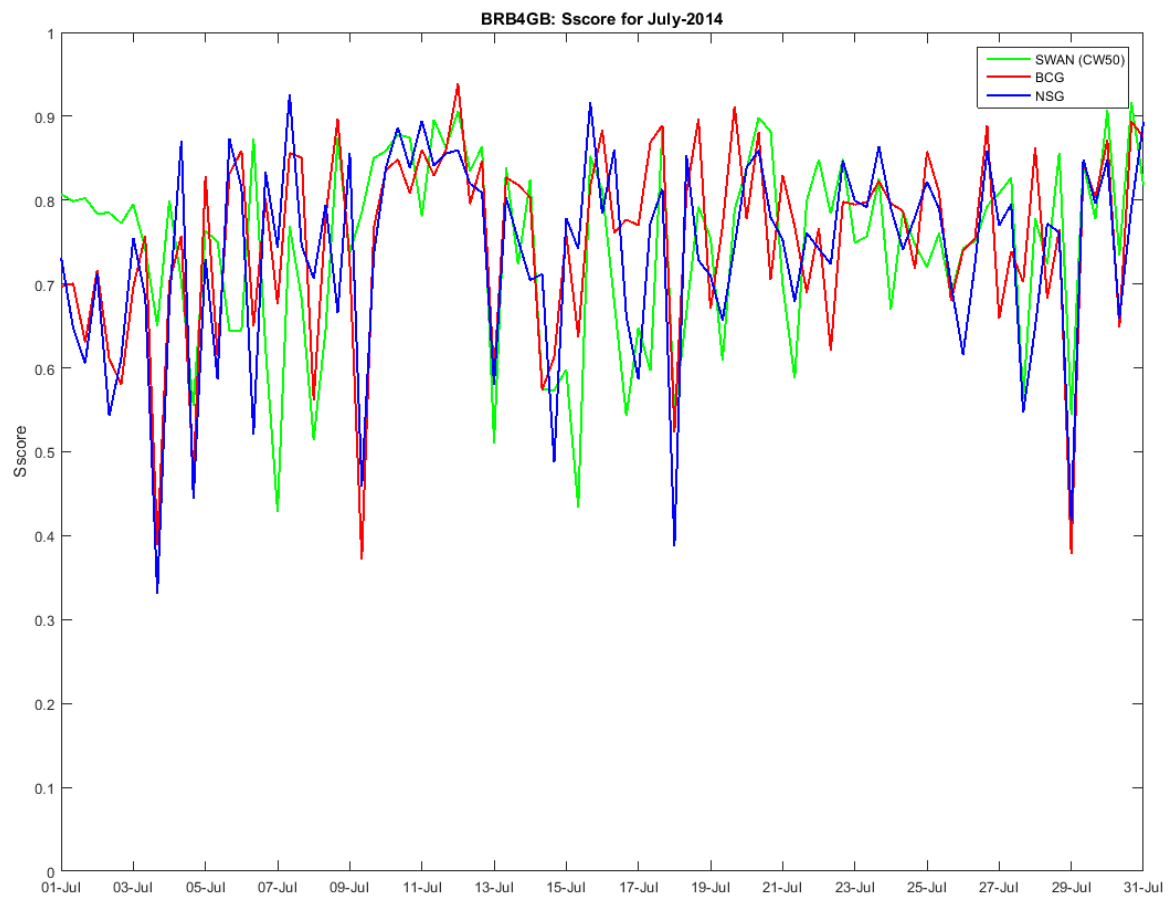
Figuur 0.30 Geïntegreerde golfparameters voor juli 2014 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



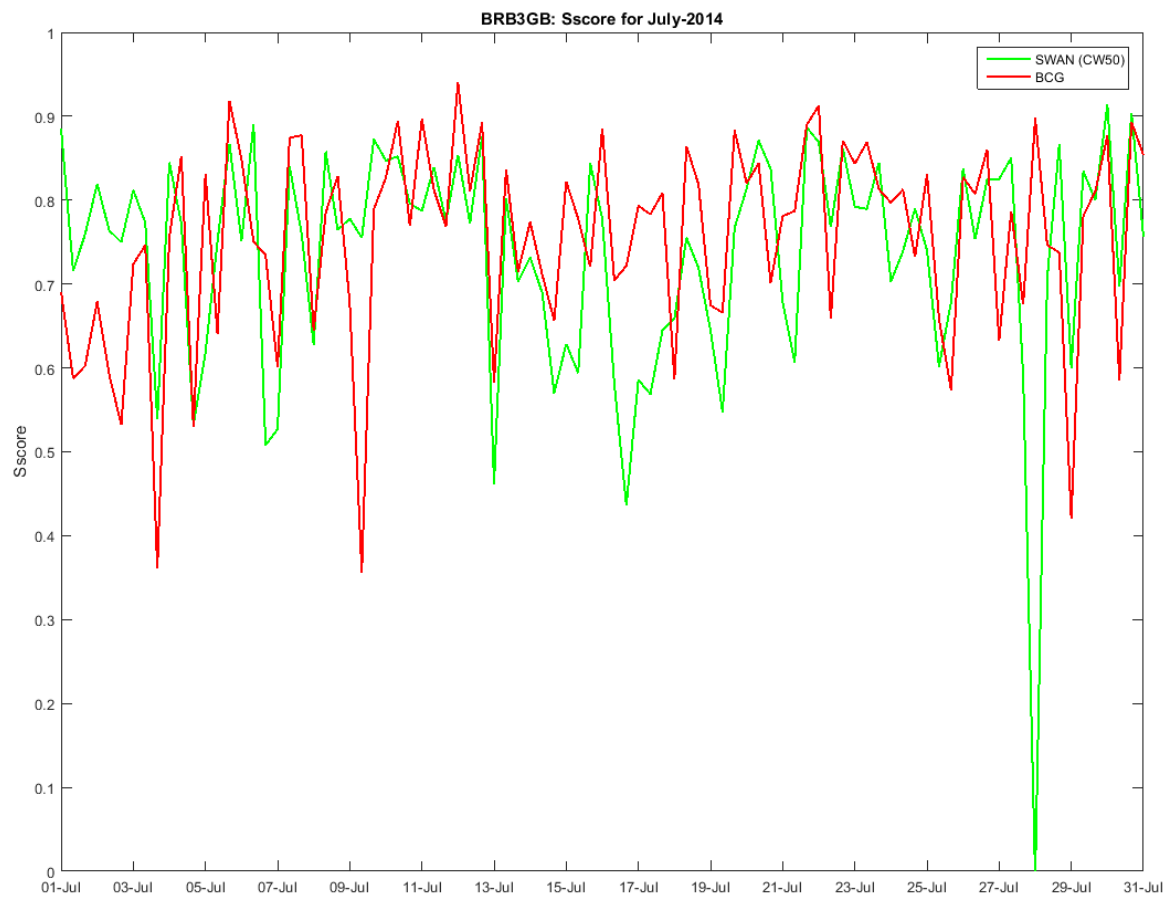
Figuur 0.31De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.



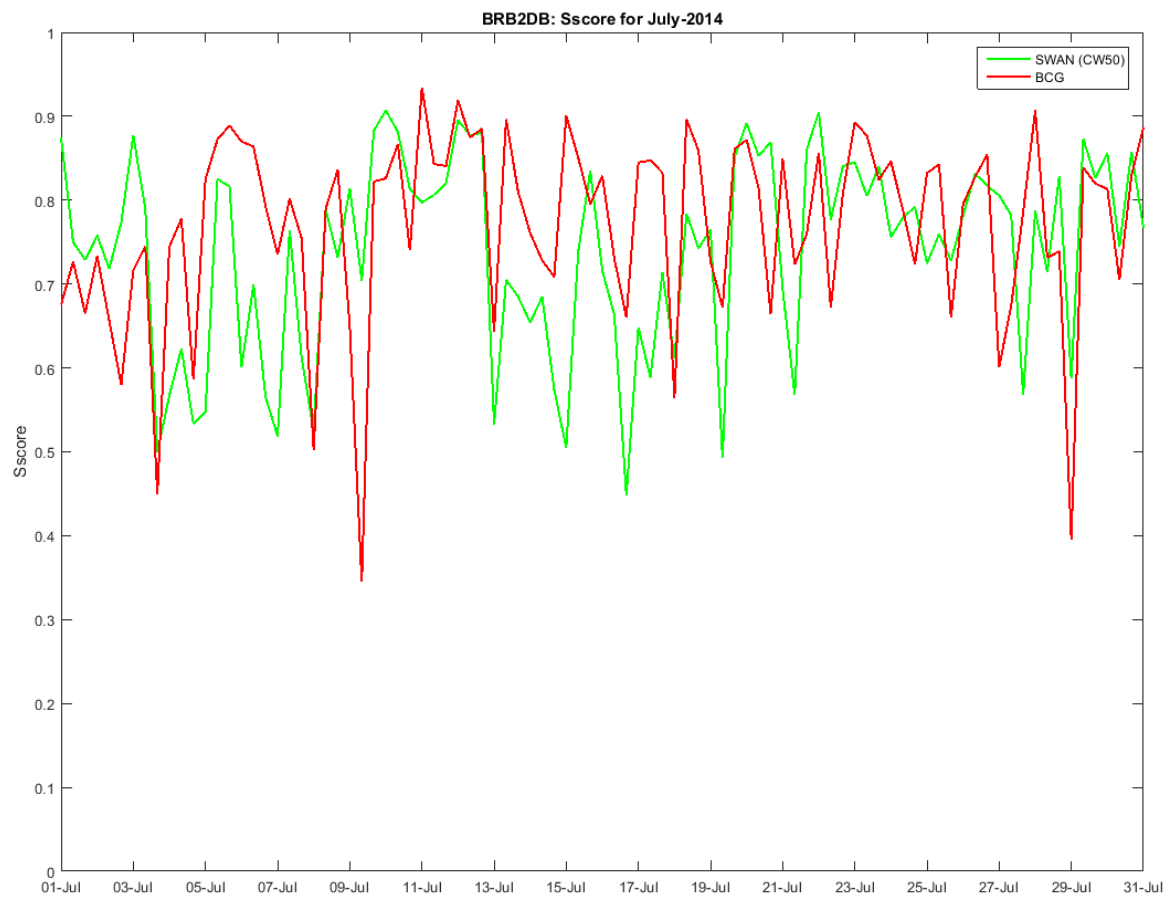
Figuur 0.32De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.



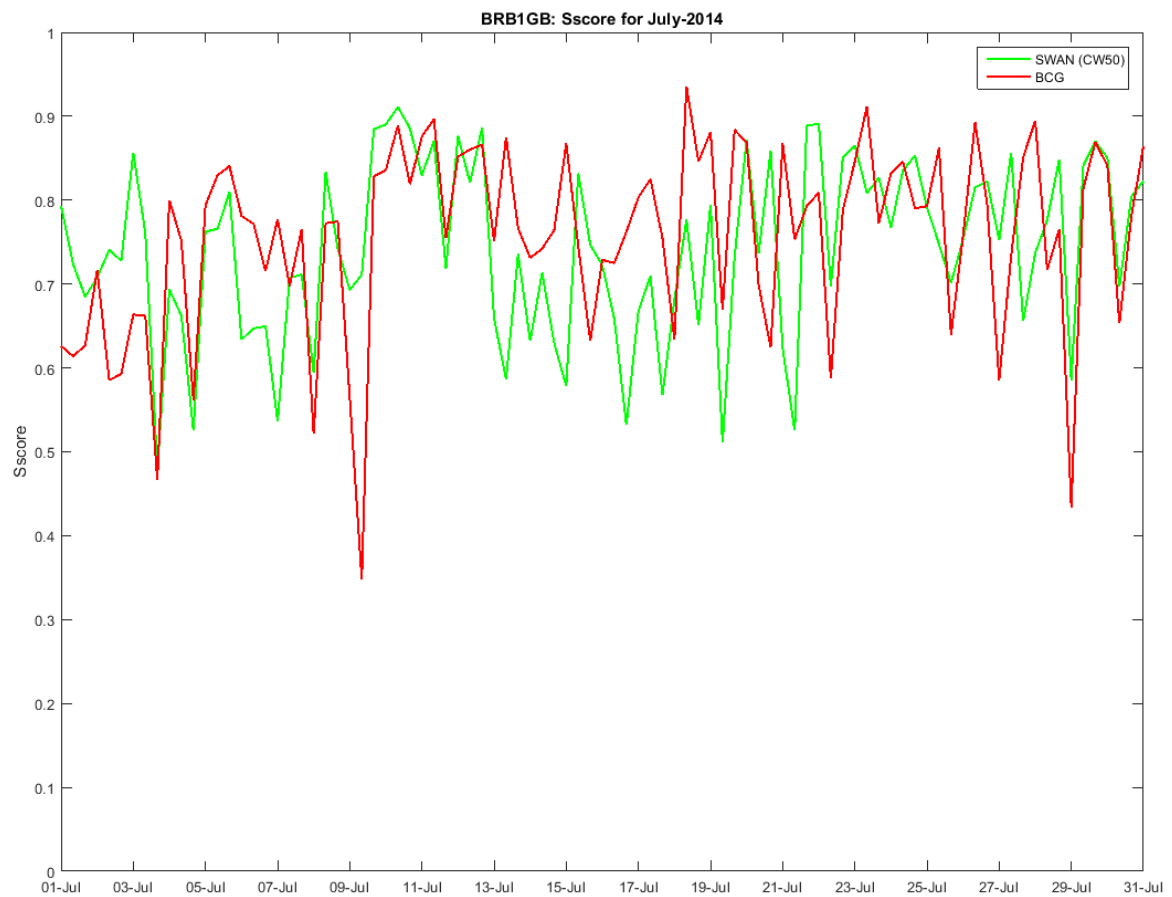
Figuur 0.33 De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.



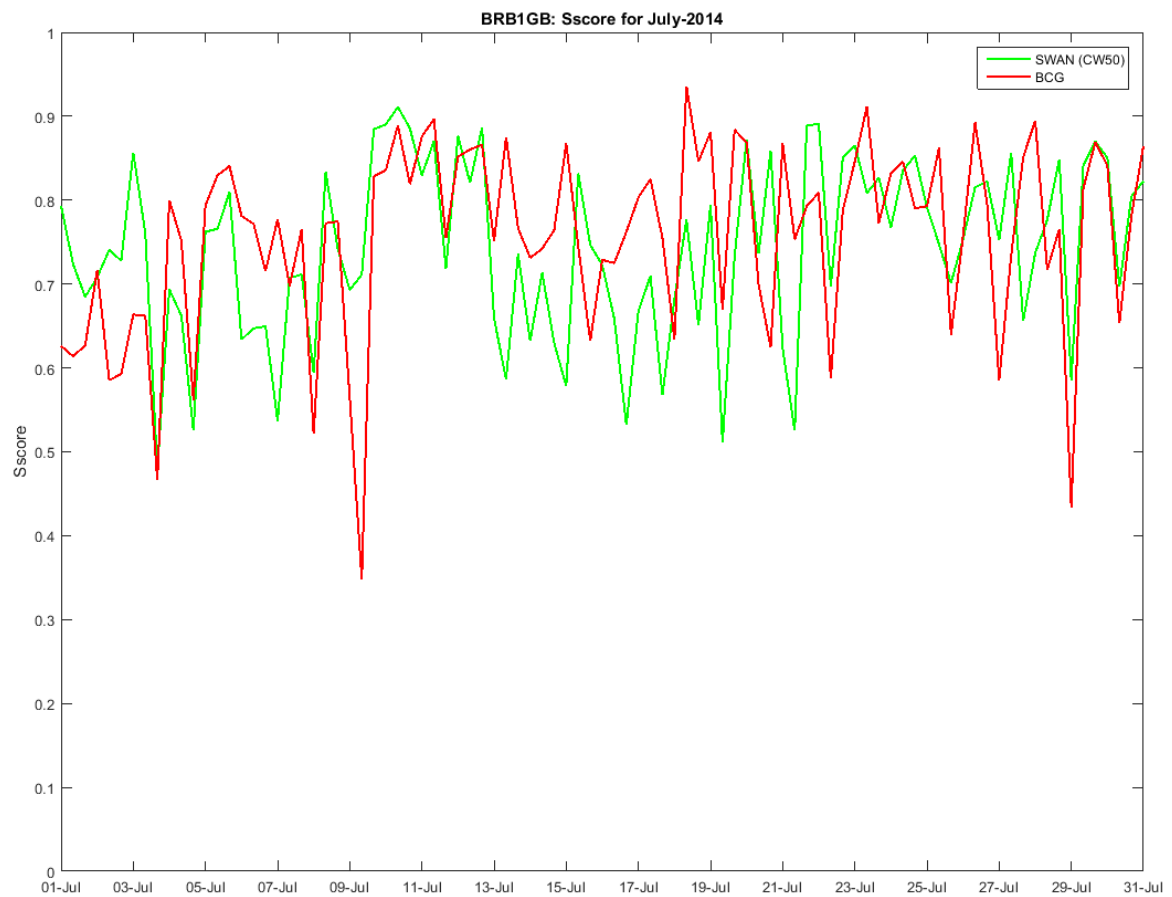
Figuur 0.34De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.



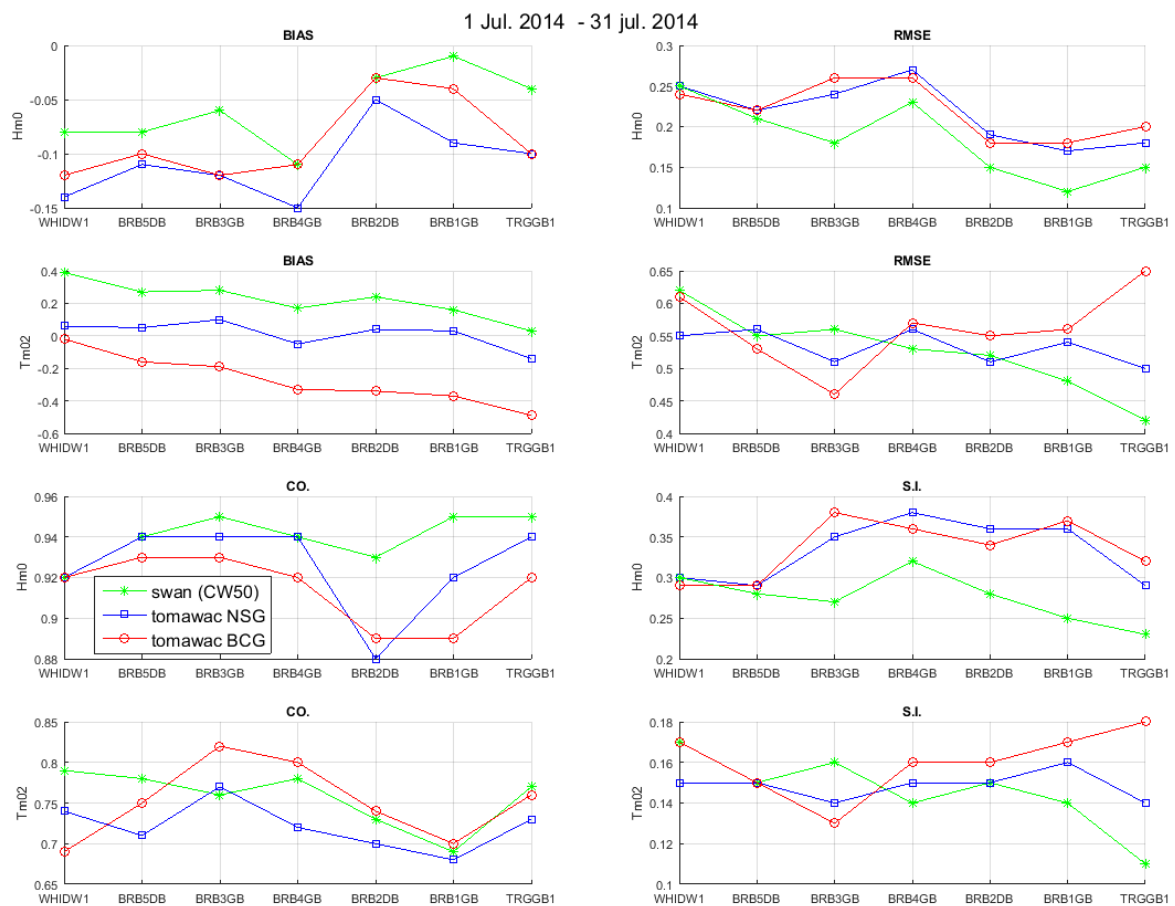
Figuur 0.35De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.



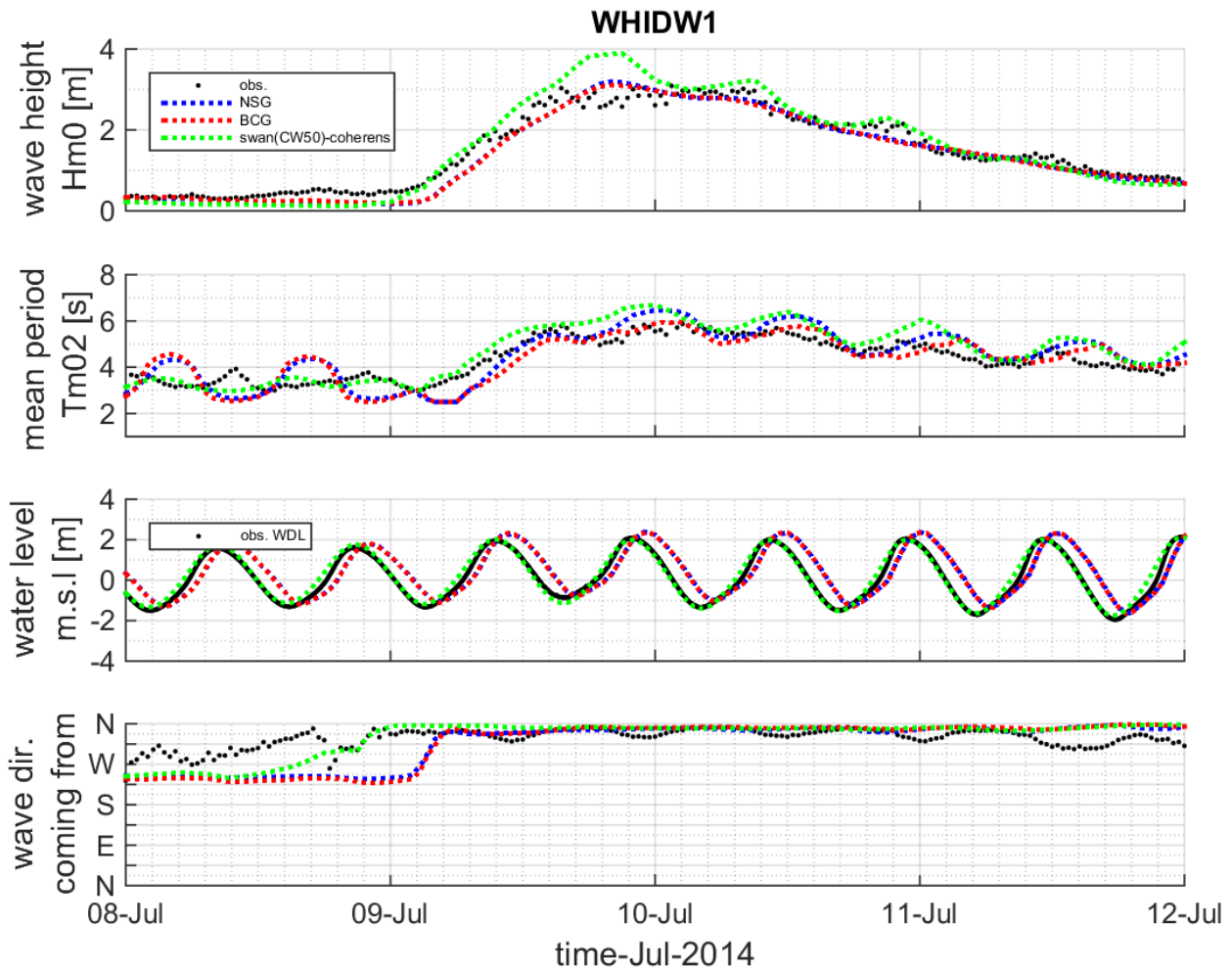
Figuur 0.36De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.



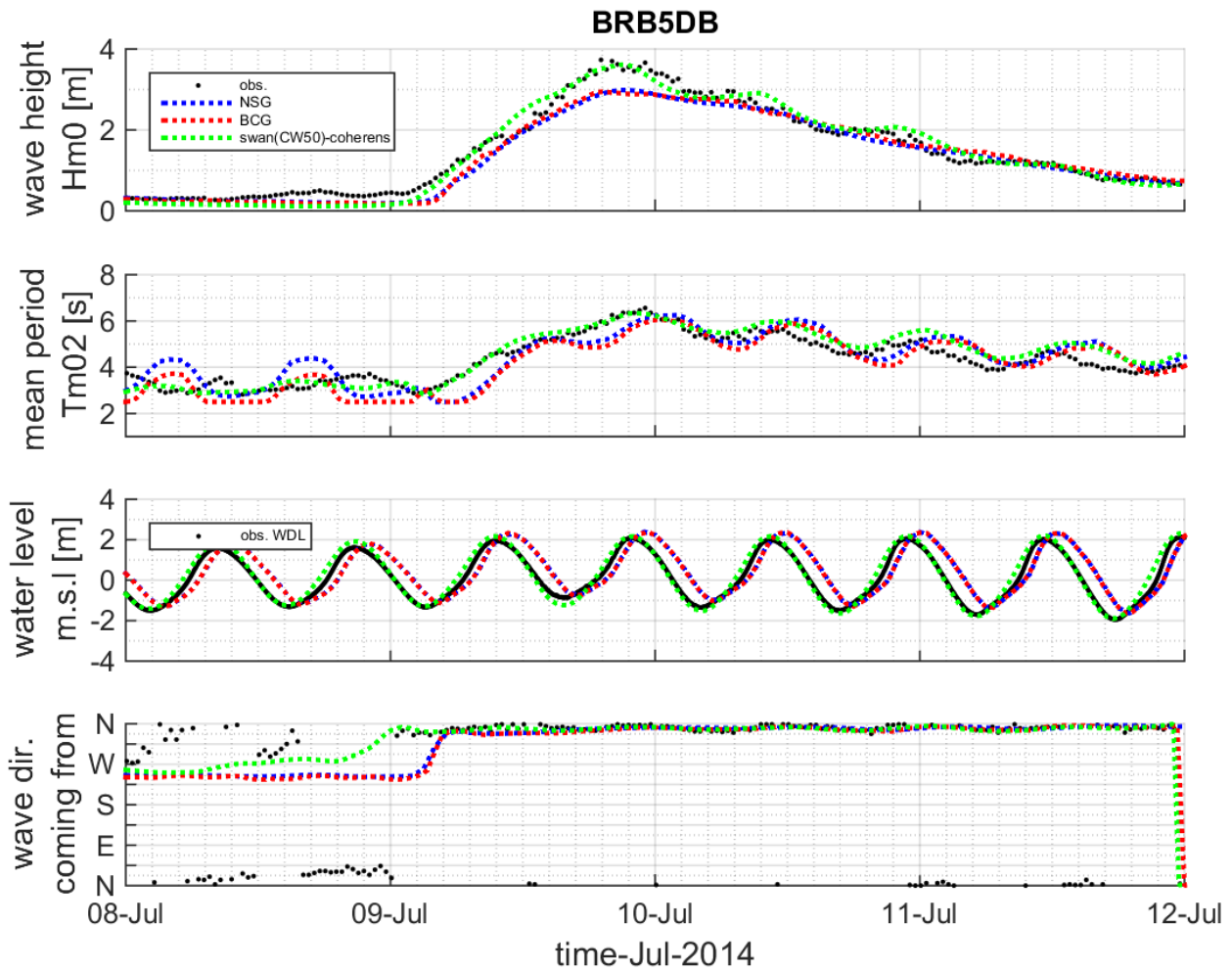
Figuur 0.37De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.



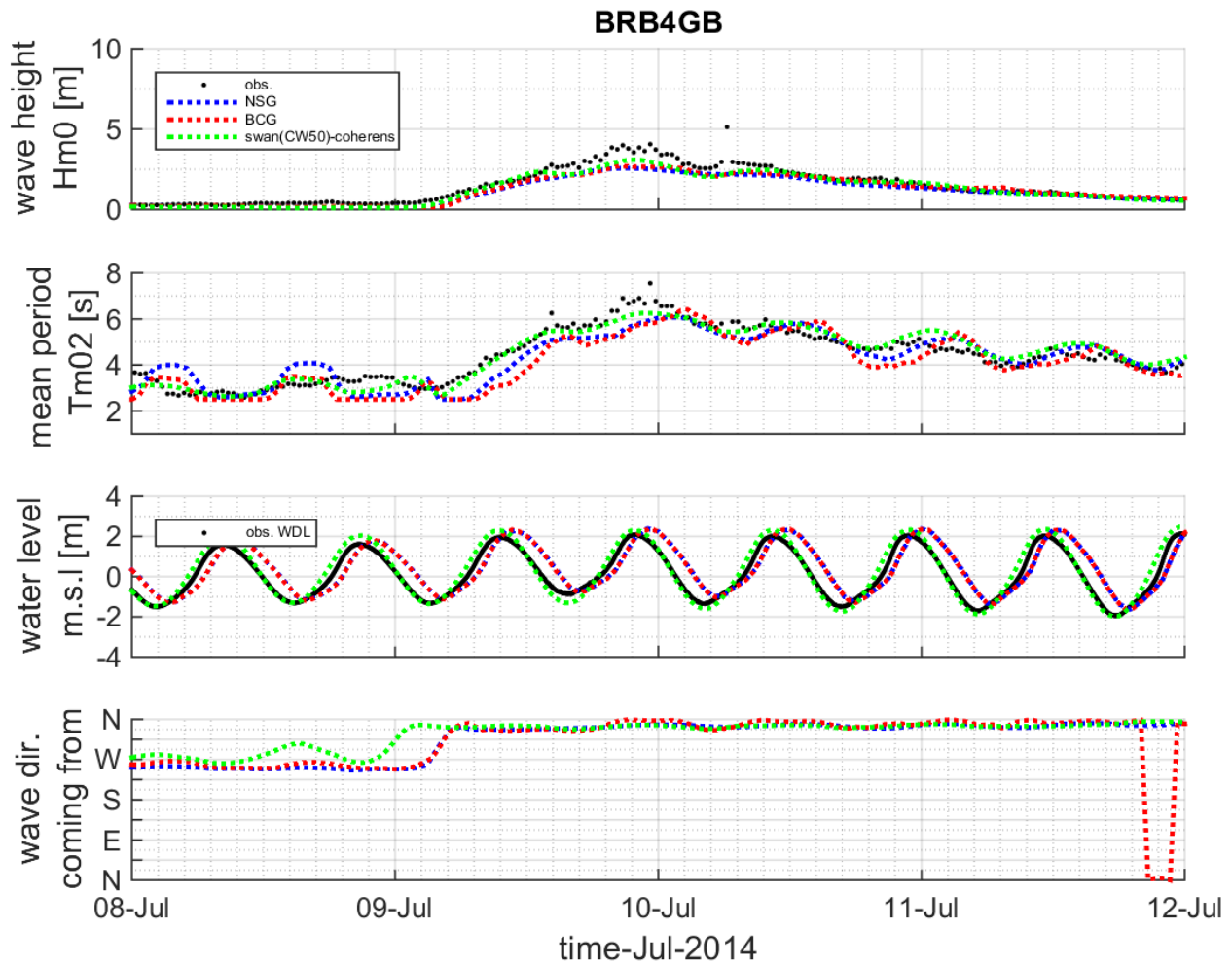
Figuur 0.38 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor juli 2014 en dit voor alle boeien.



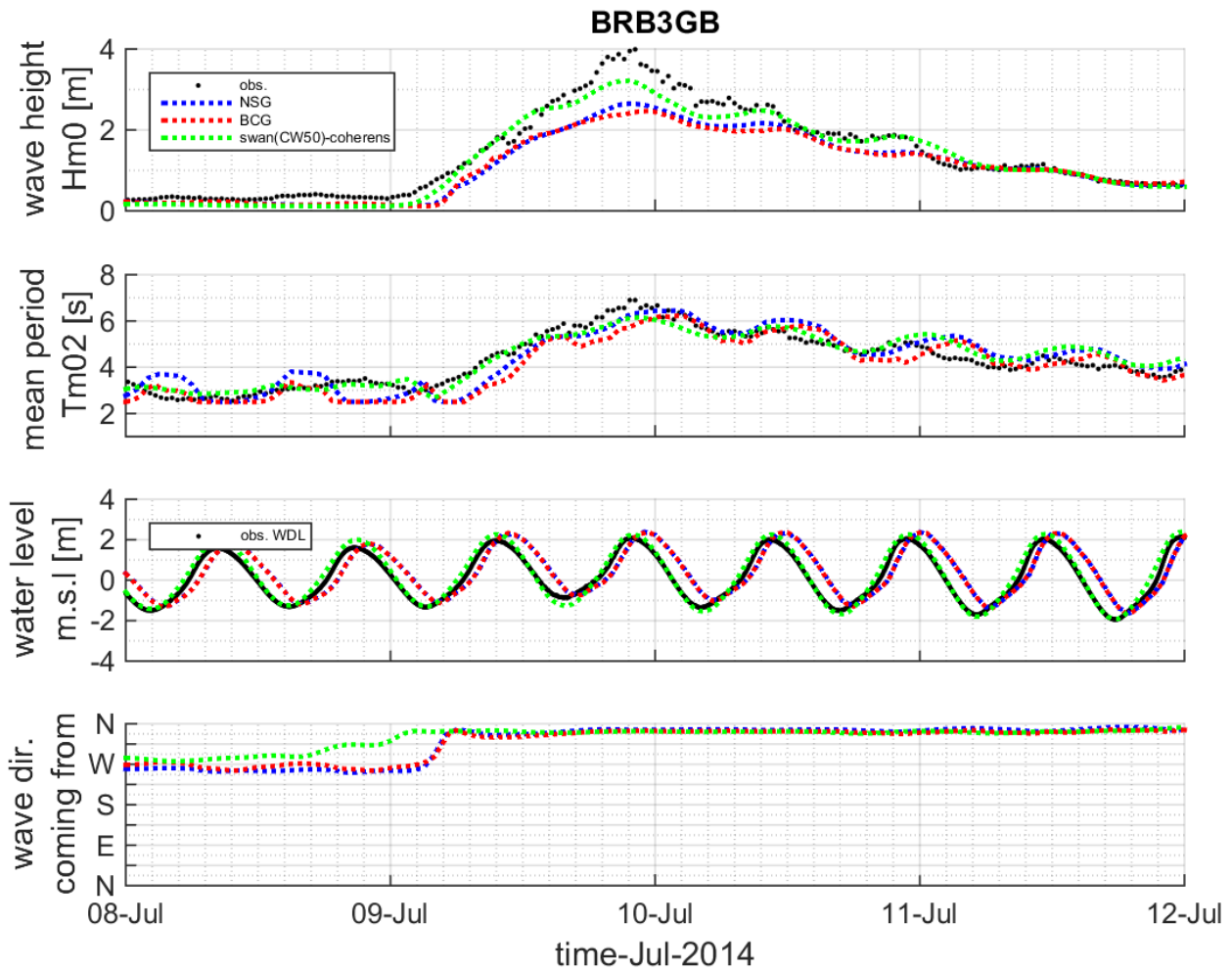
Figuur 0.39 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



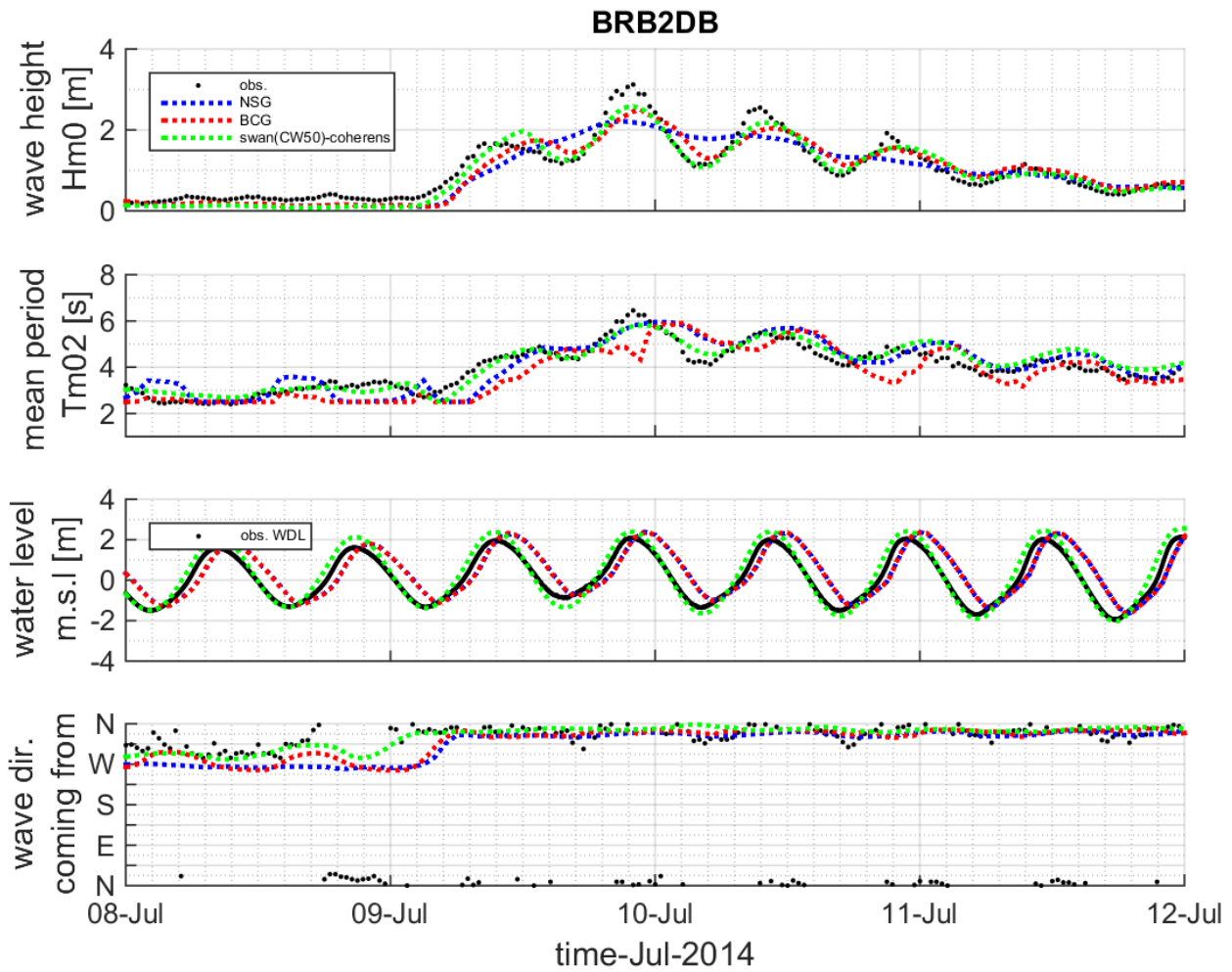
Figuur 0.40 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



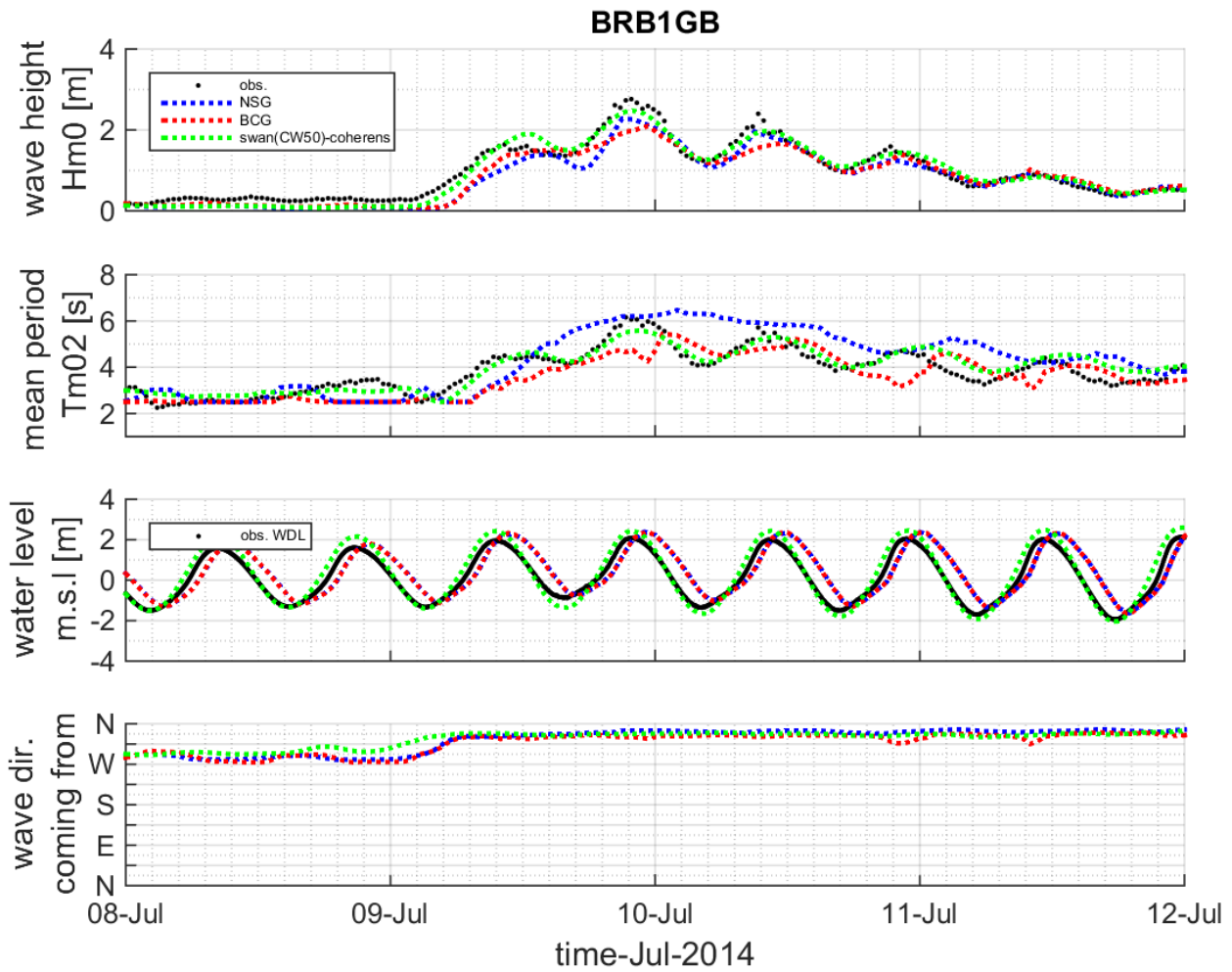
Figuur 0.41 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



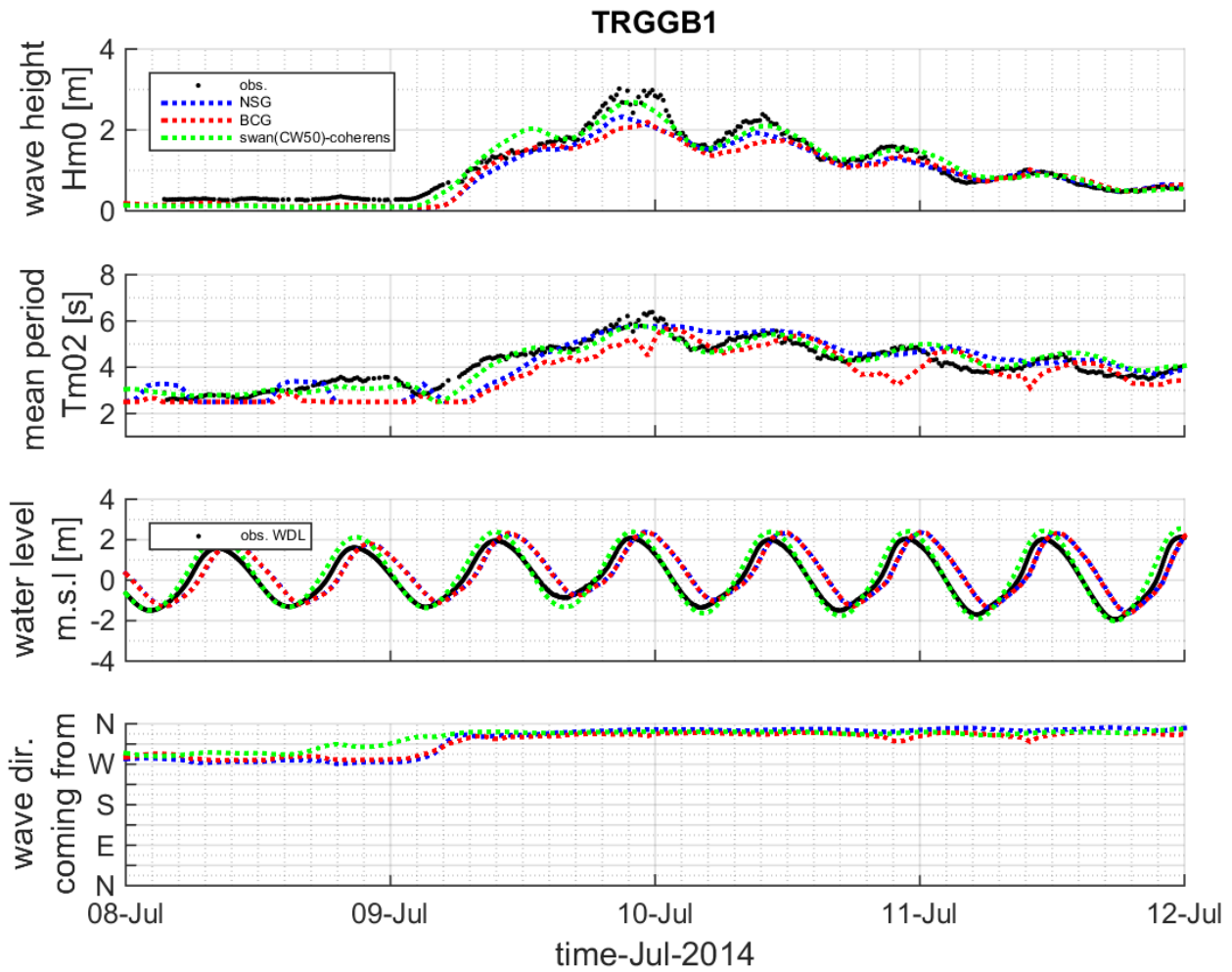
Figuur 0.42 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



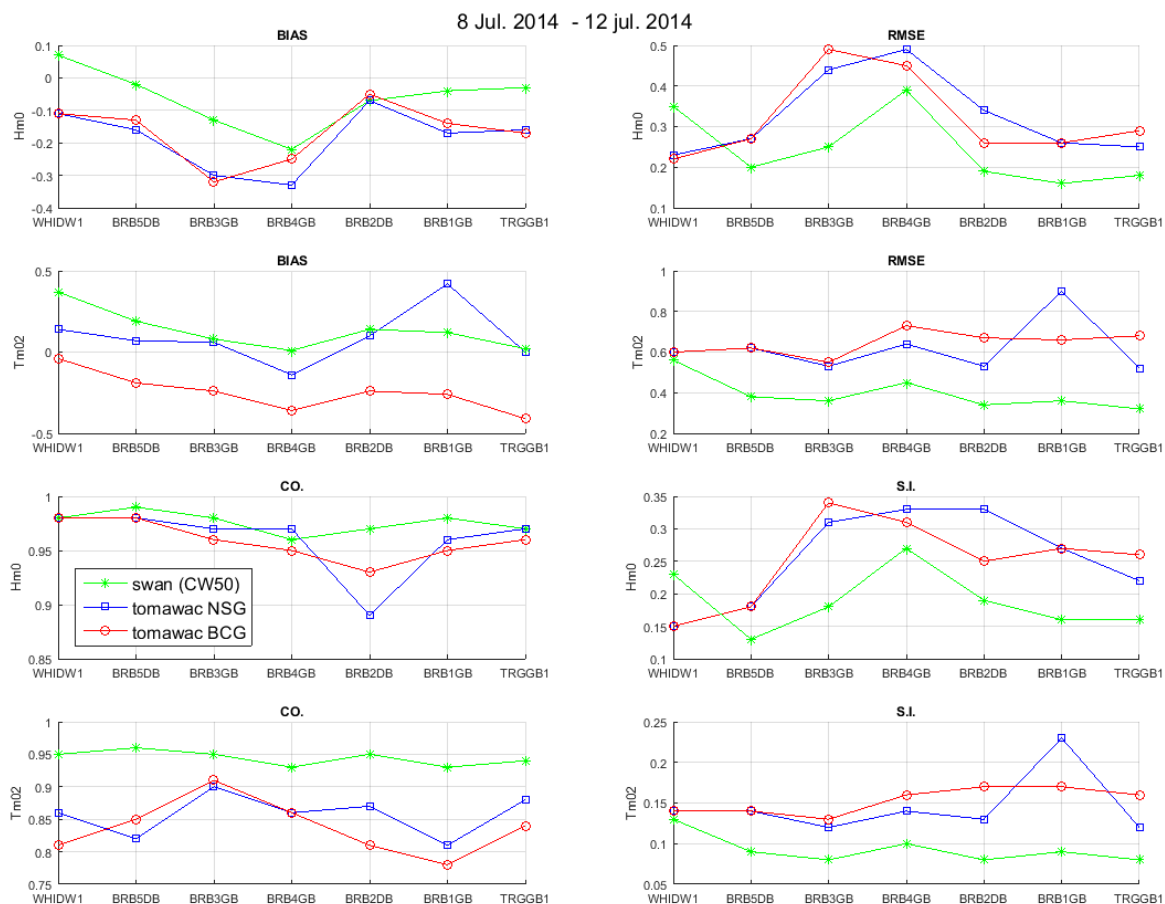
Figuur 0.43 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



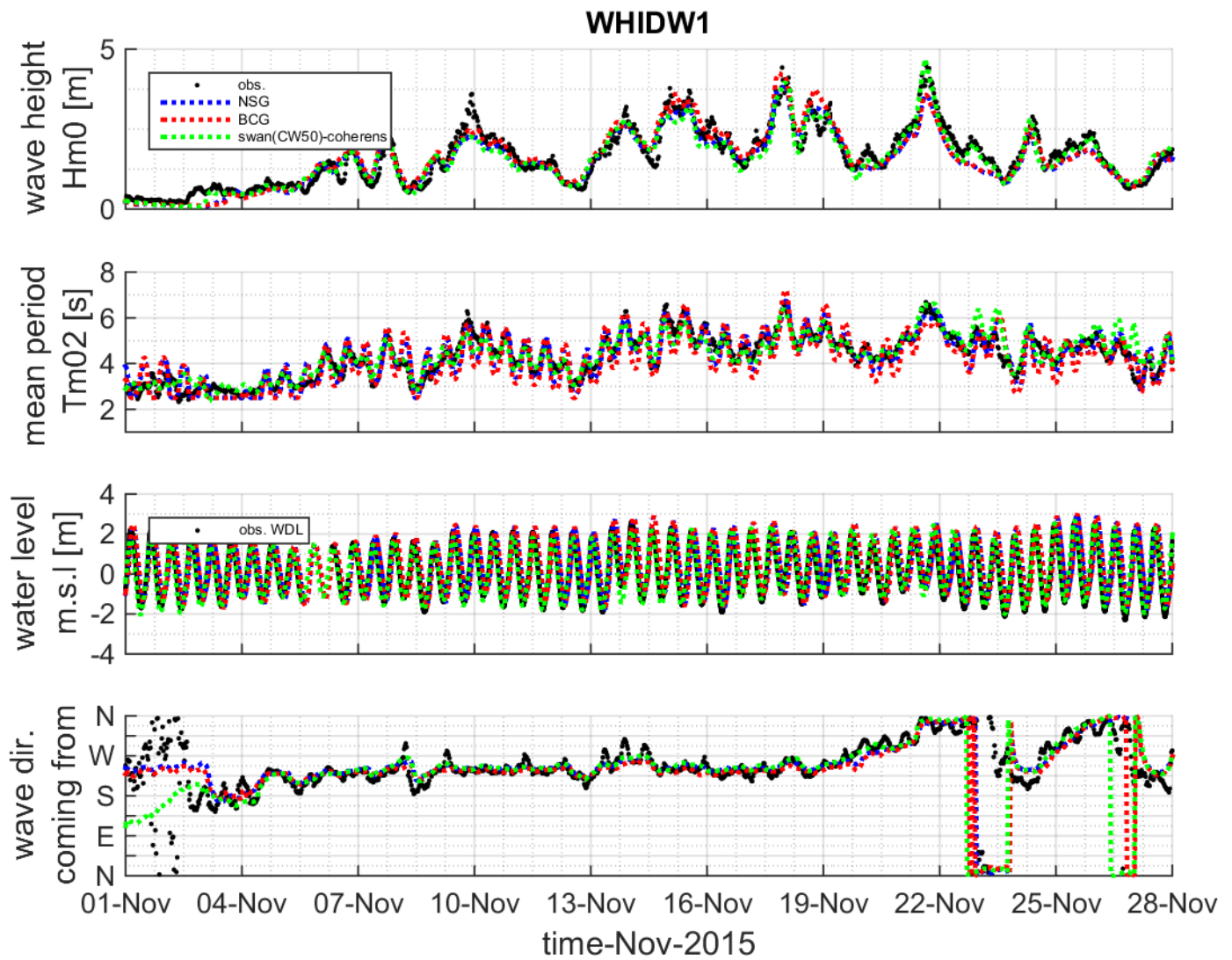
Figuur 0.44 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



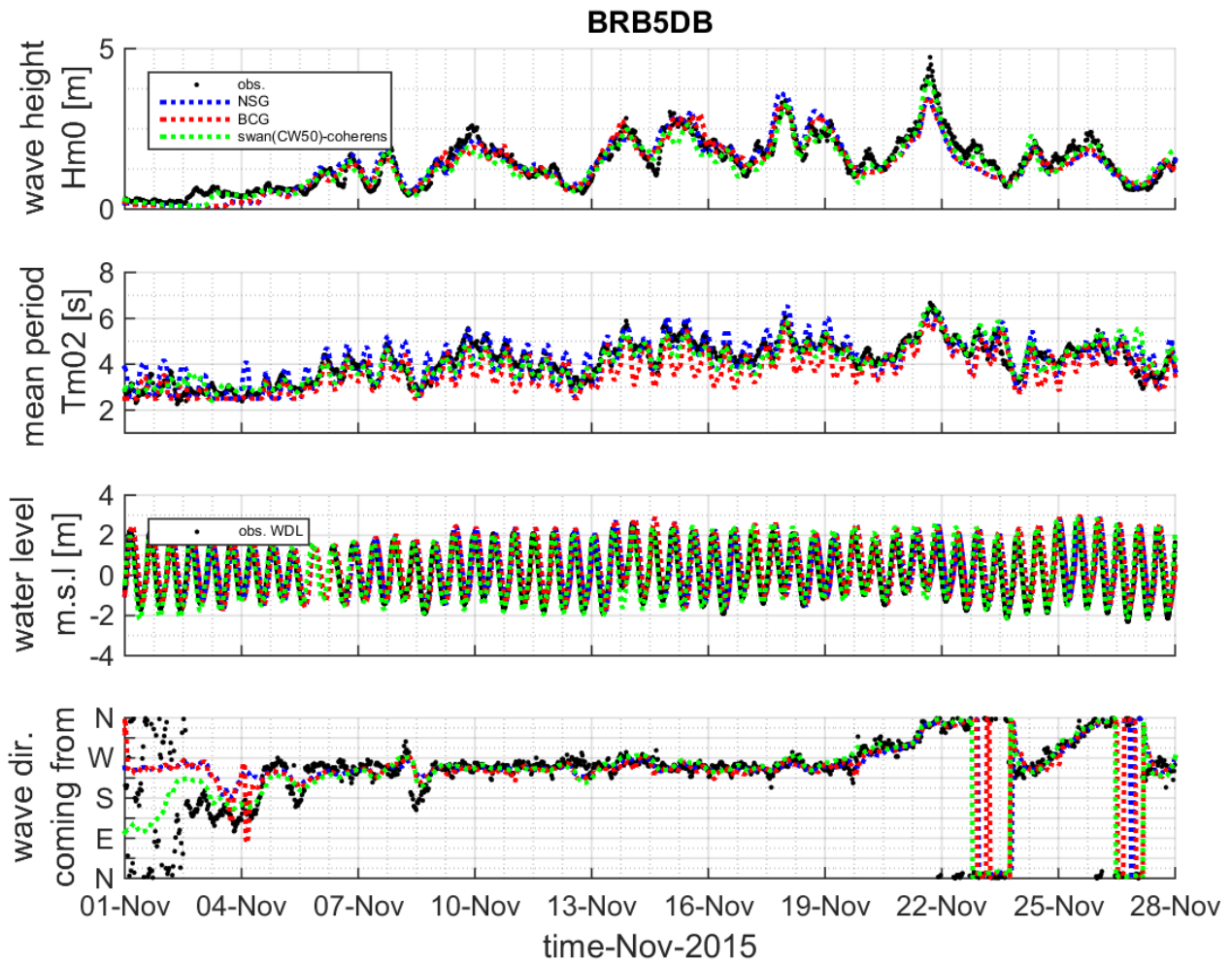
Figuur 0.45 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 8-12 juli 2014 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



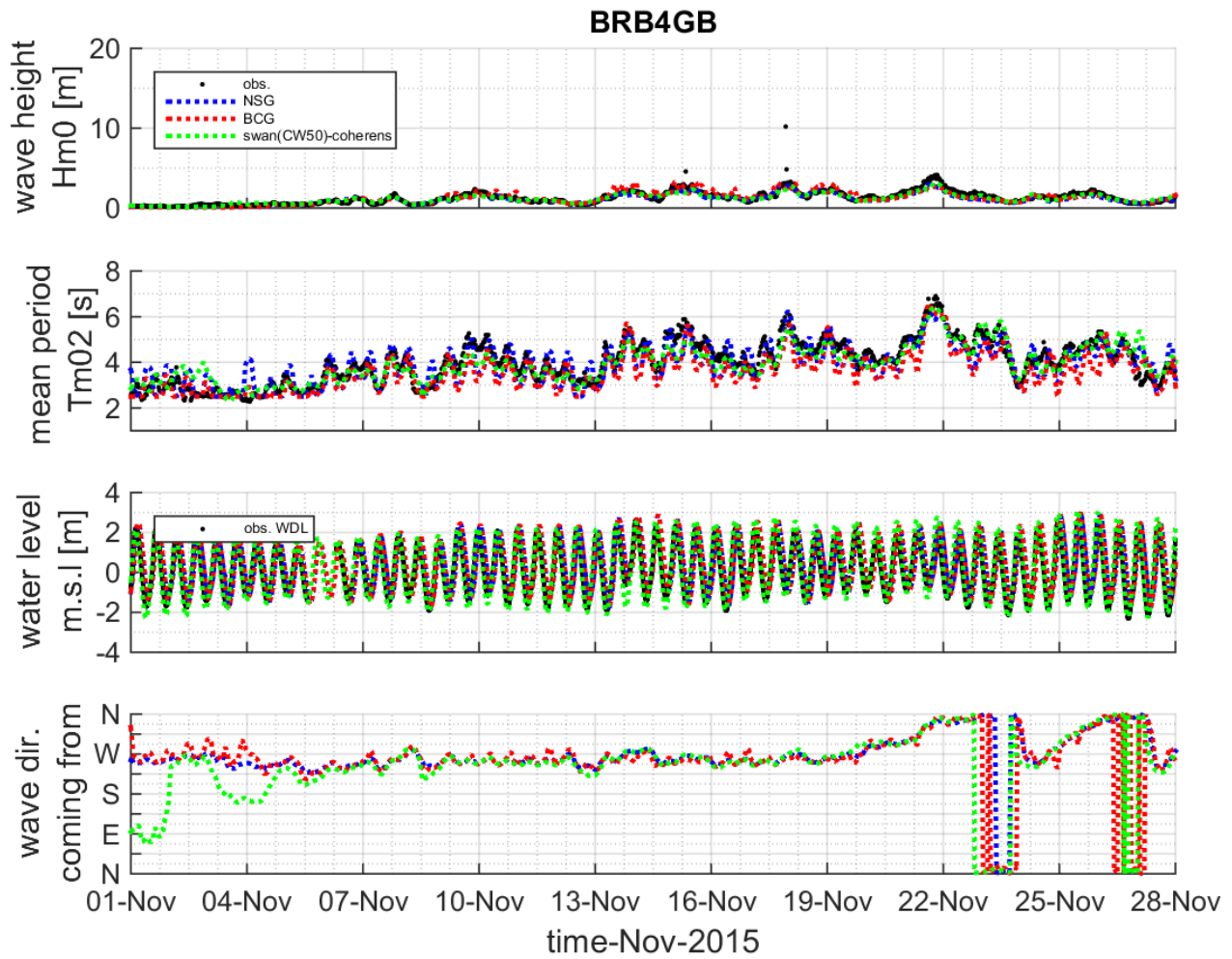
Figuur 0.46 The statistical parameters for the storm of Nov. 2015 for Hm0 and Tm02 and for all the stations.



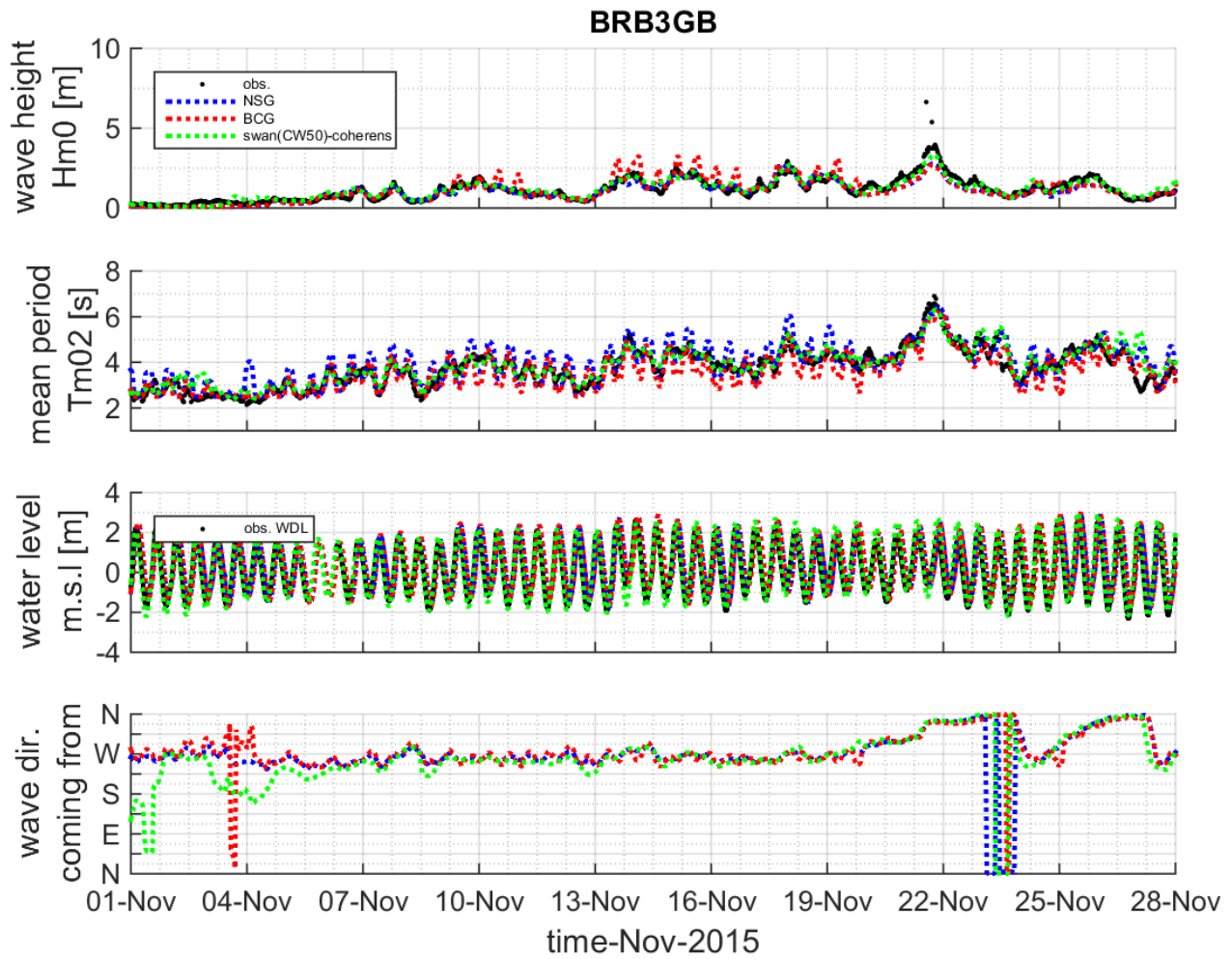
Figuur 0.47 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



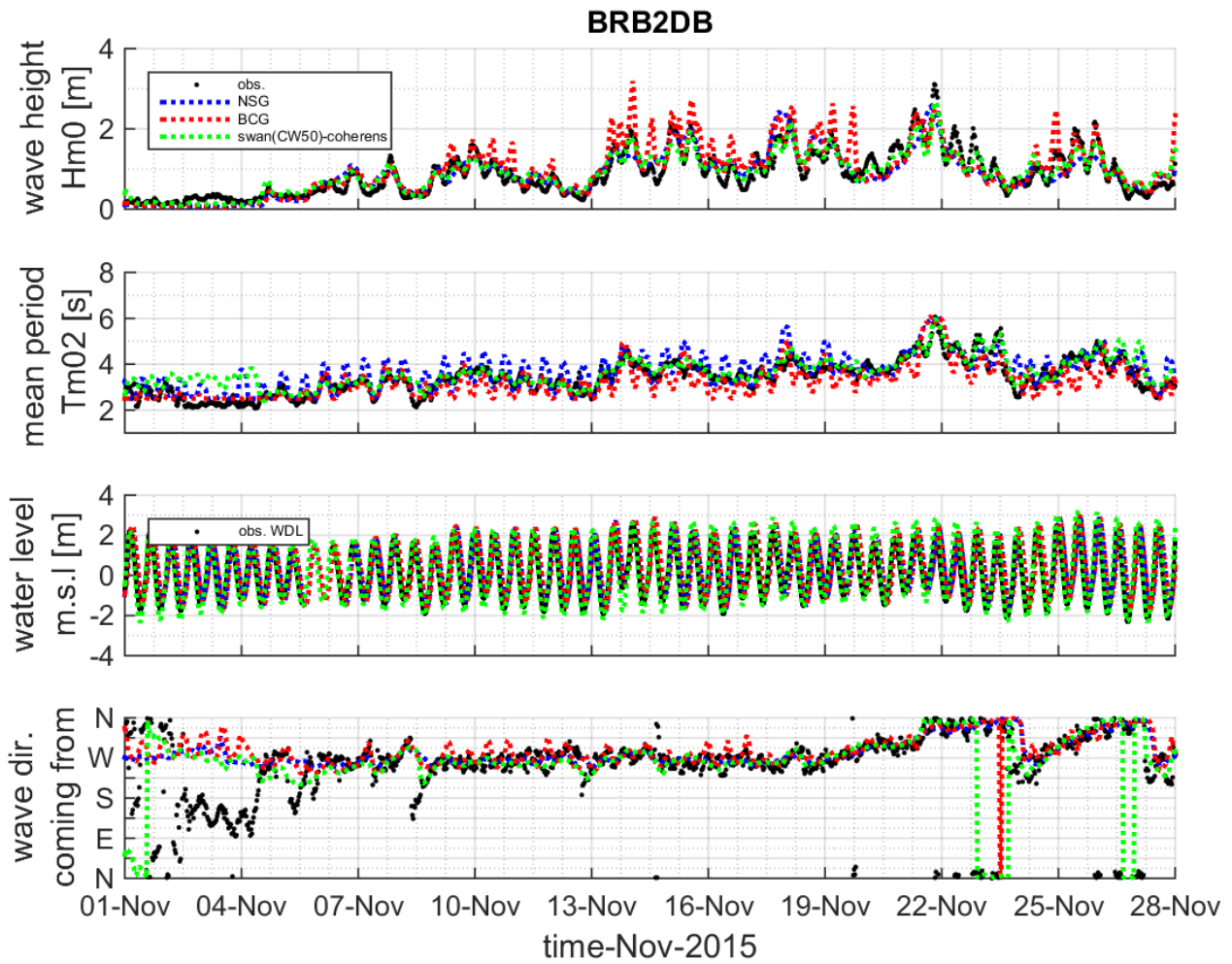
Figuur 0.48 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



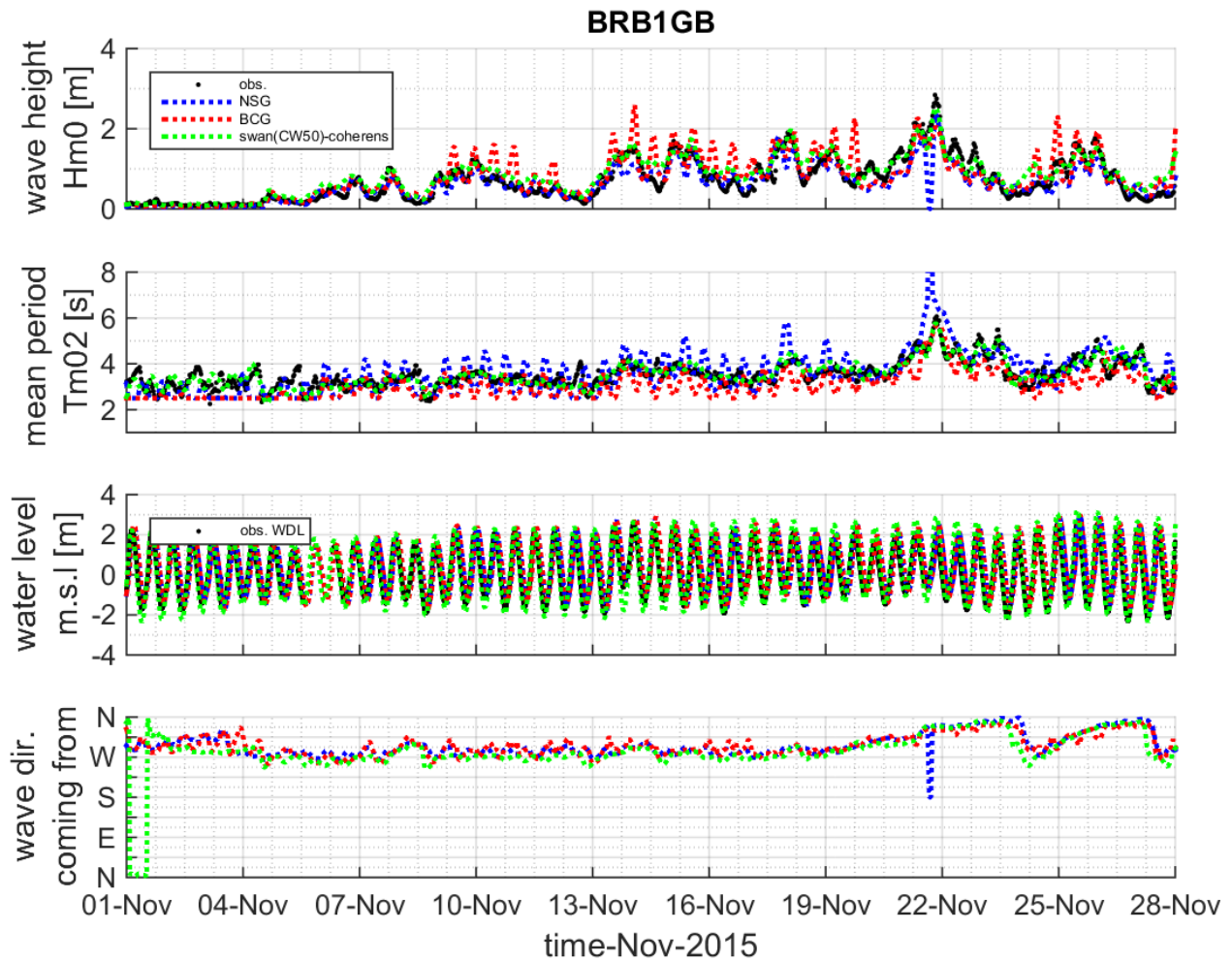
Figuur 0.49 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



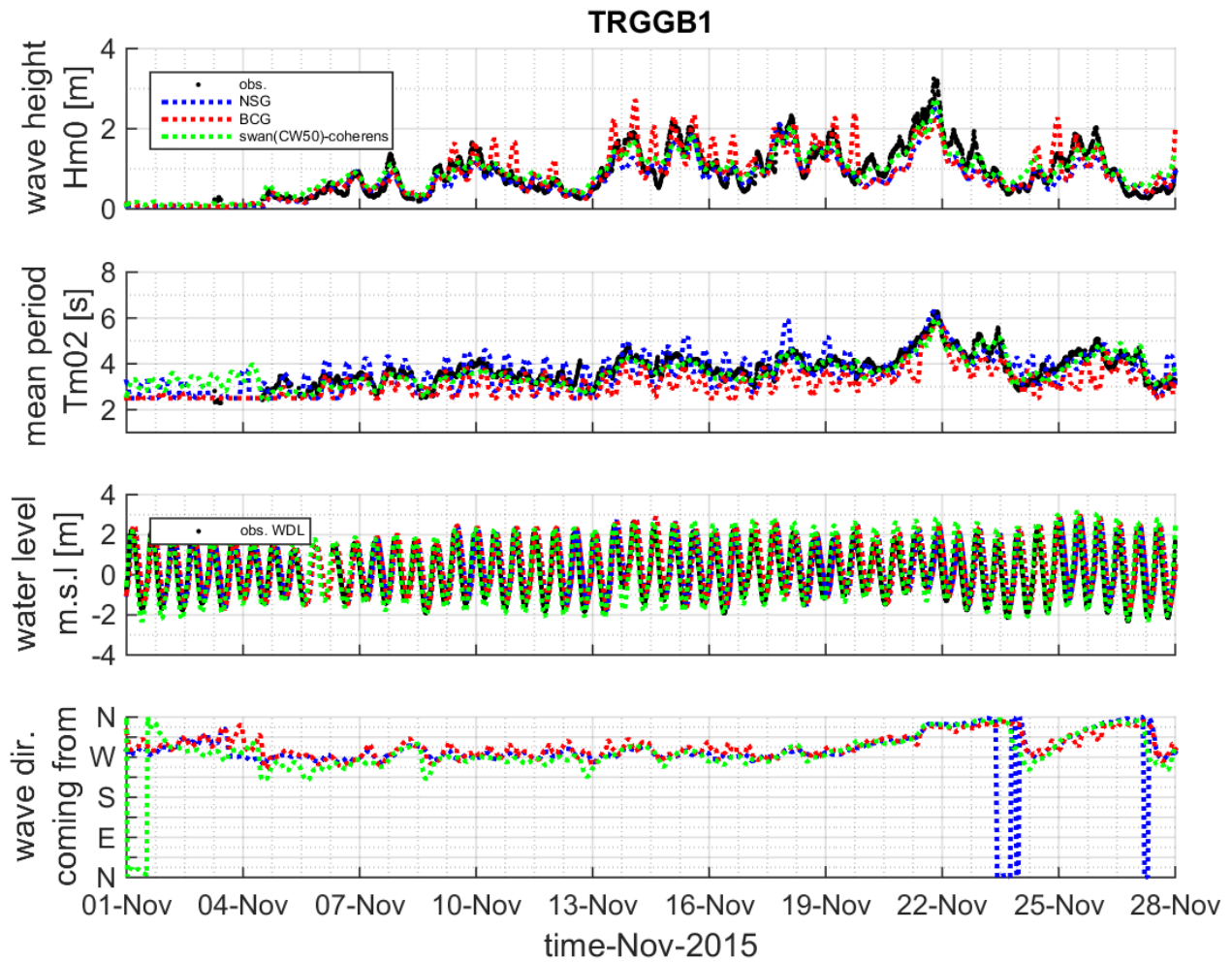
Figuur 0.50 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



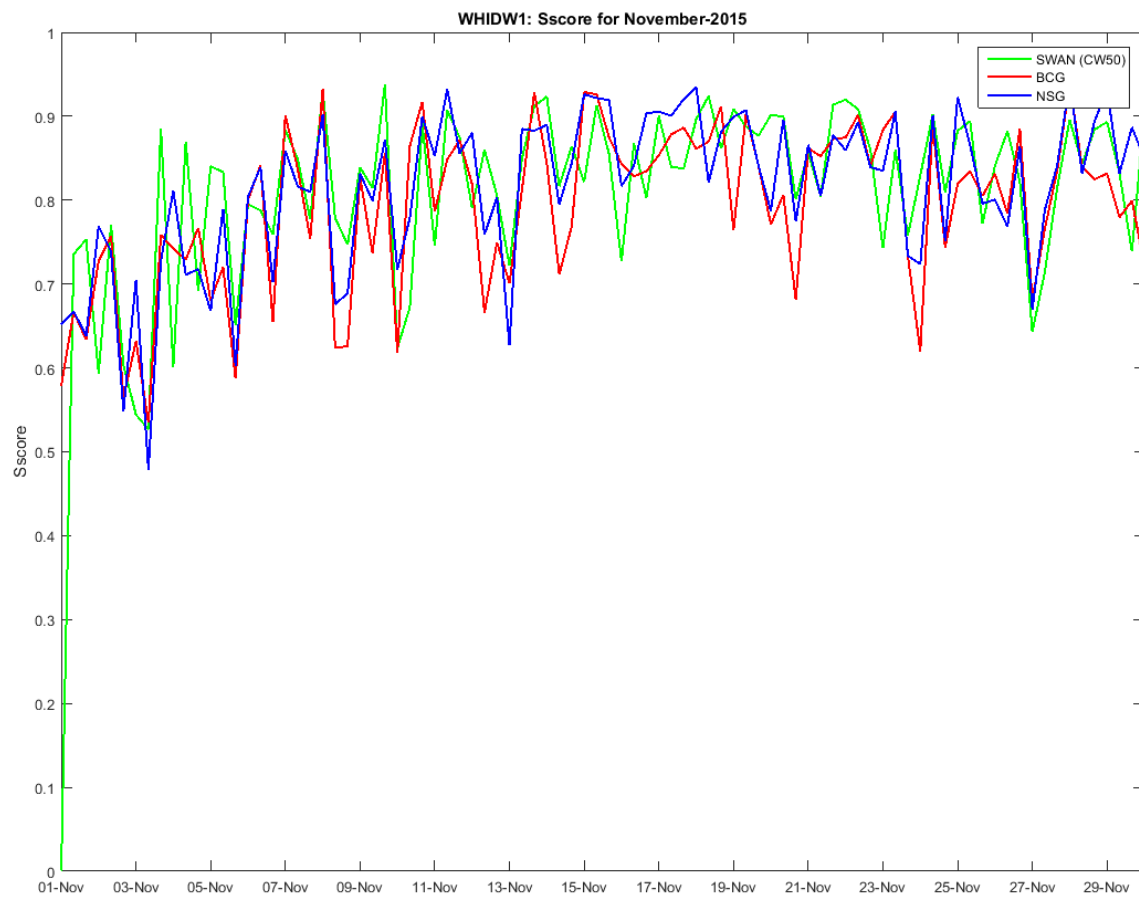
Figuur 0.51 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



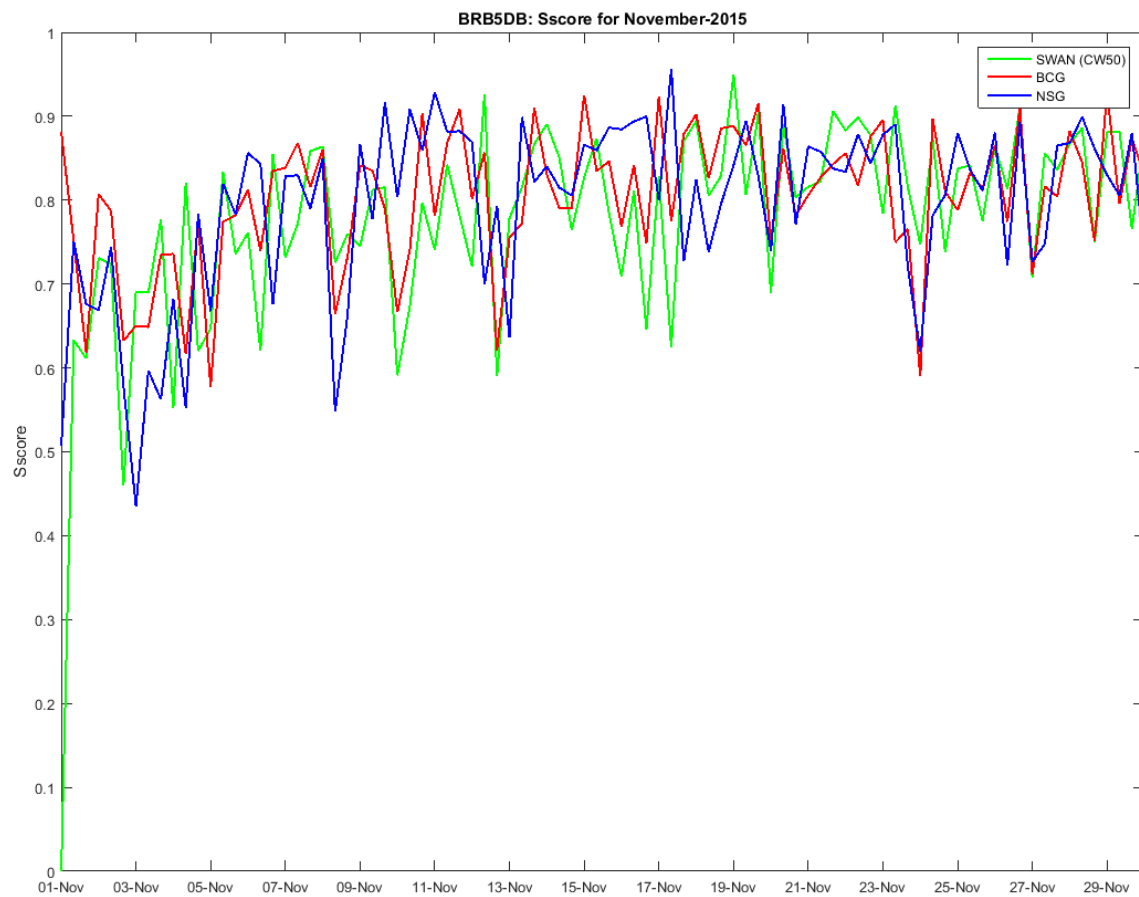
Figuur 0.52 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



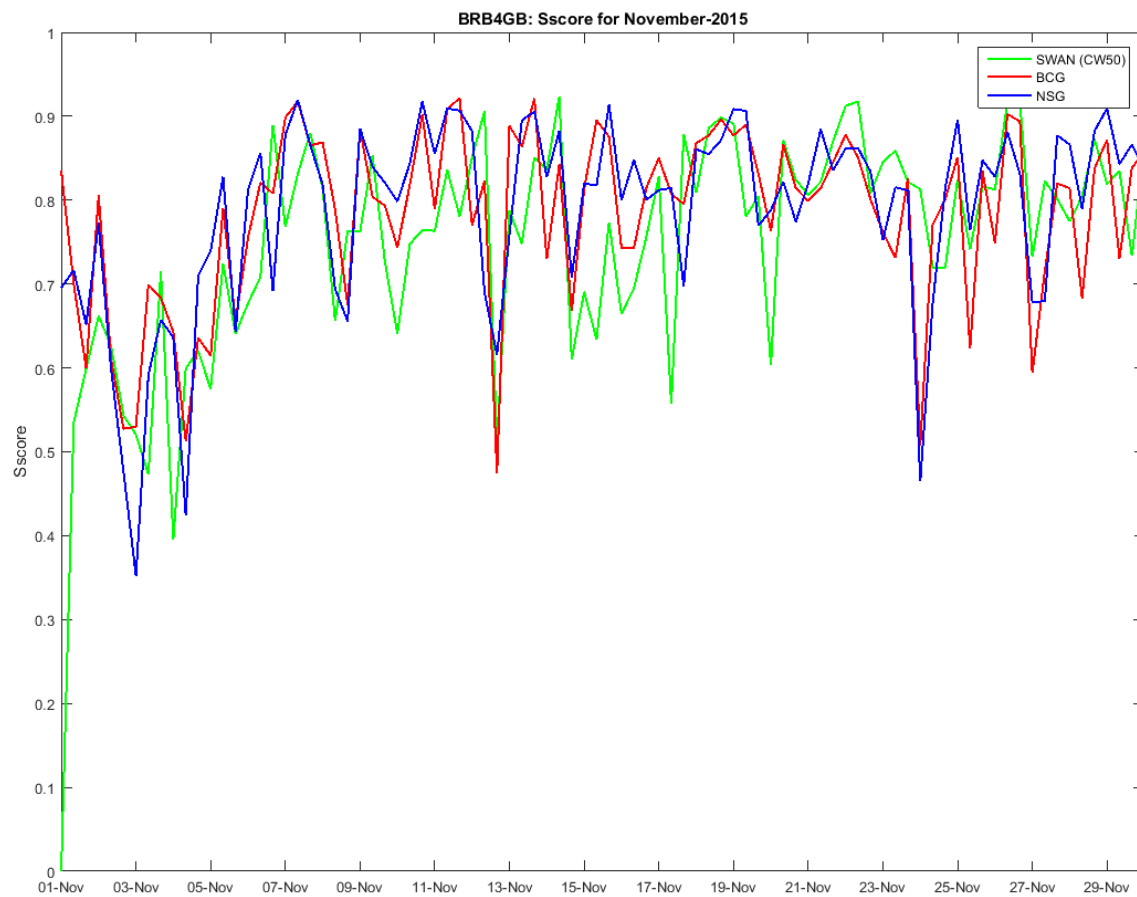
Figuur 0.53 Geïntegreerde golfparameters voor november 2015 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



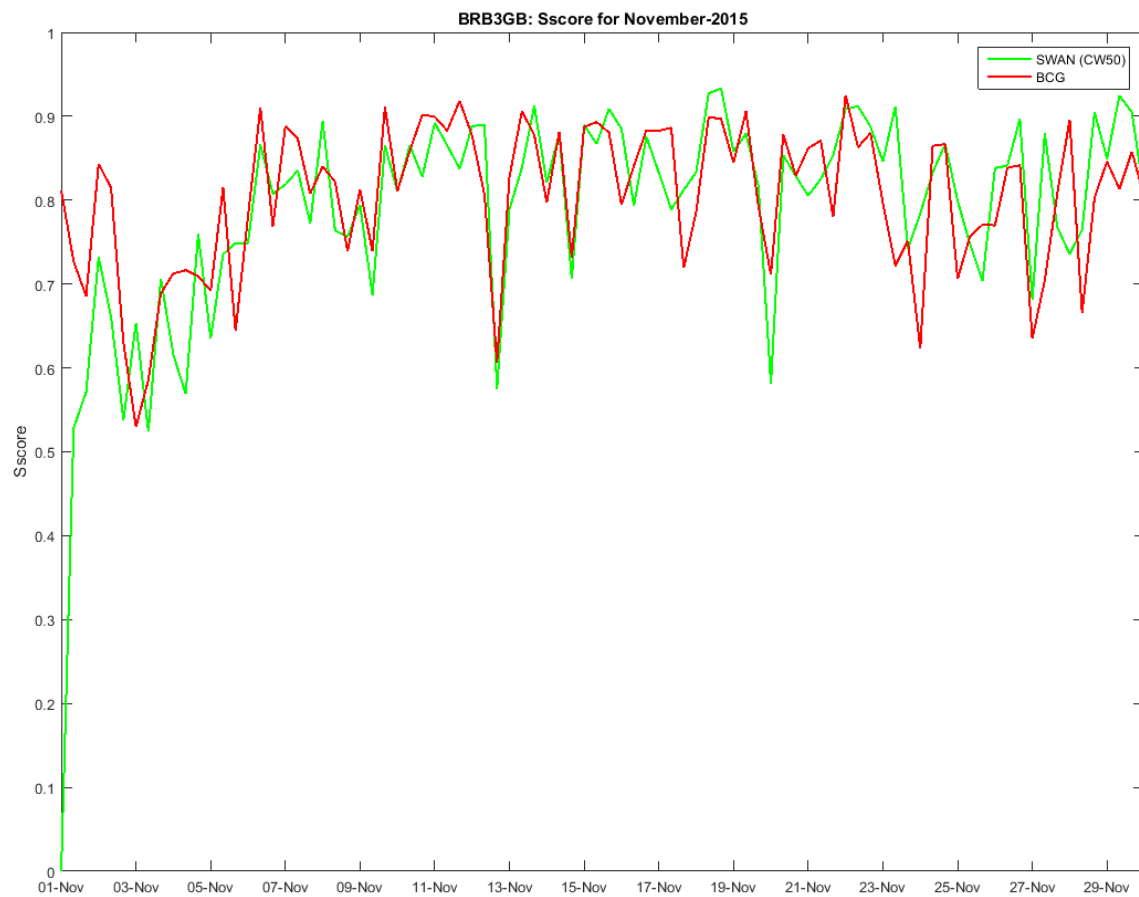
Figuur 0.54De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.



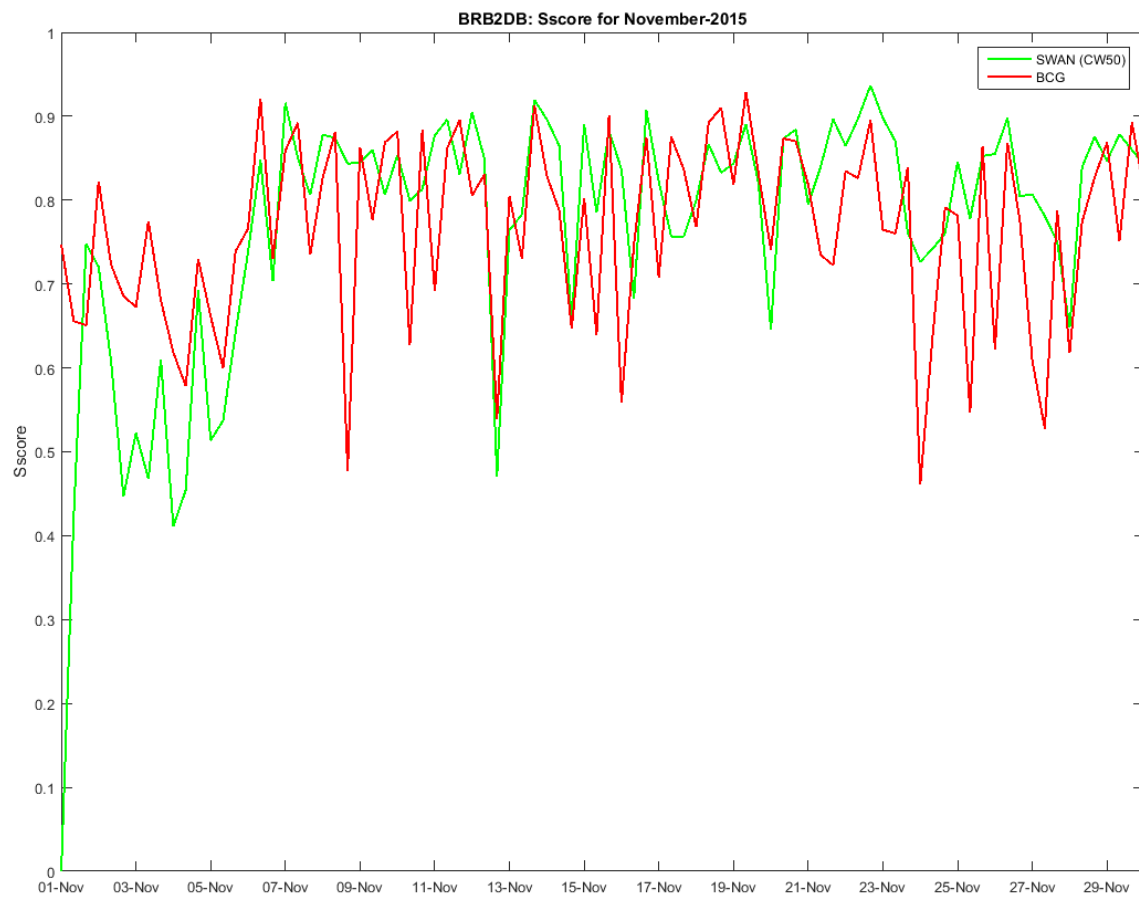
Figuur 0.55 De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.



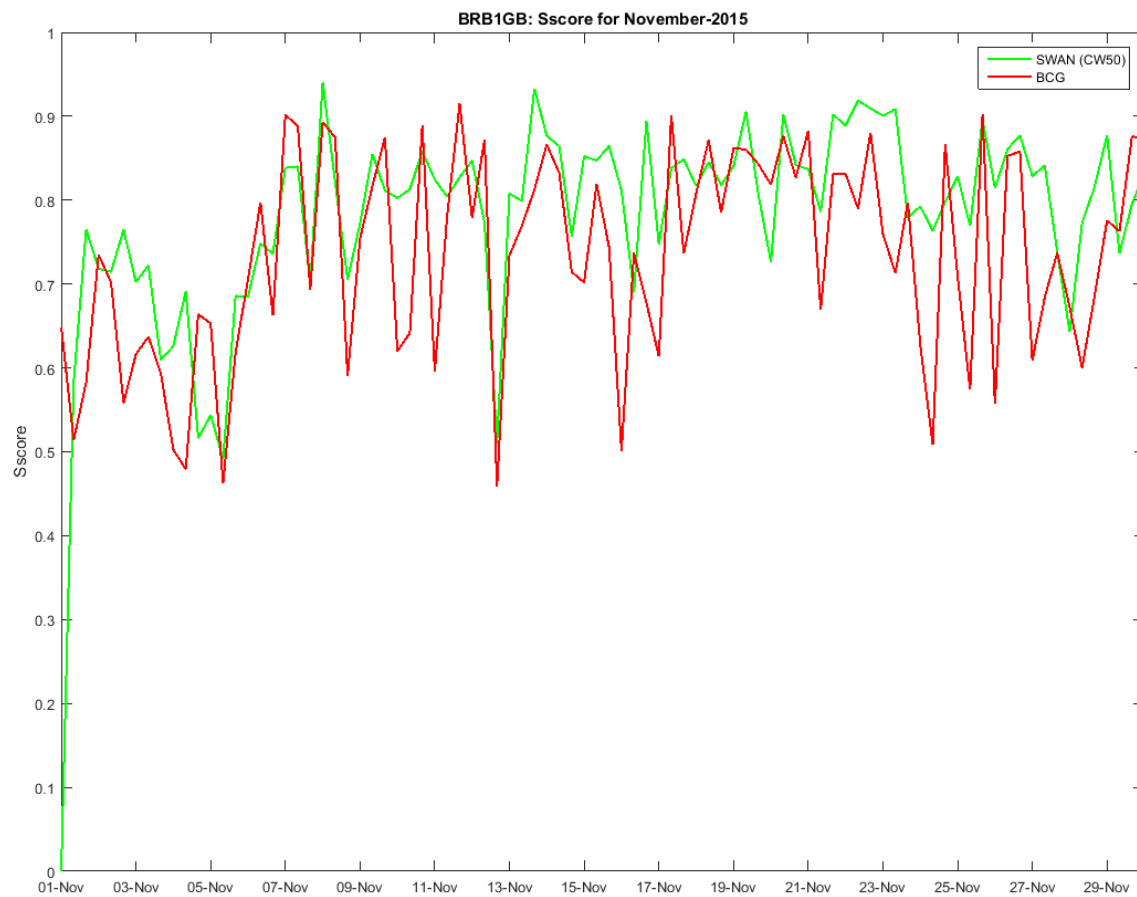
Figuur 0.56De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.



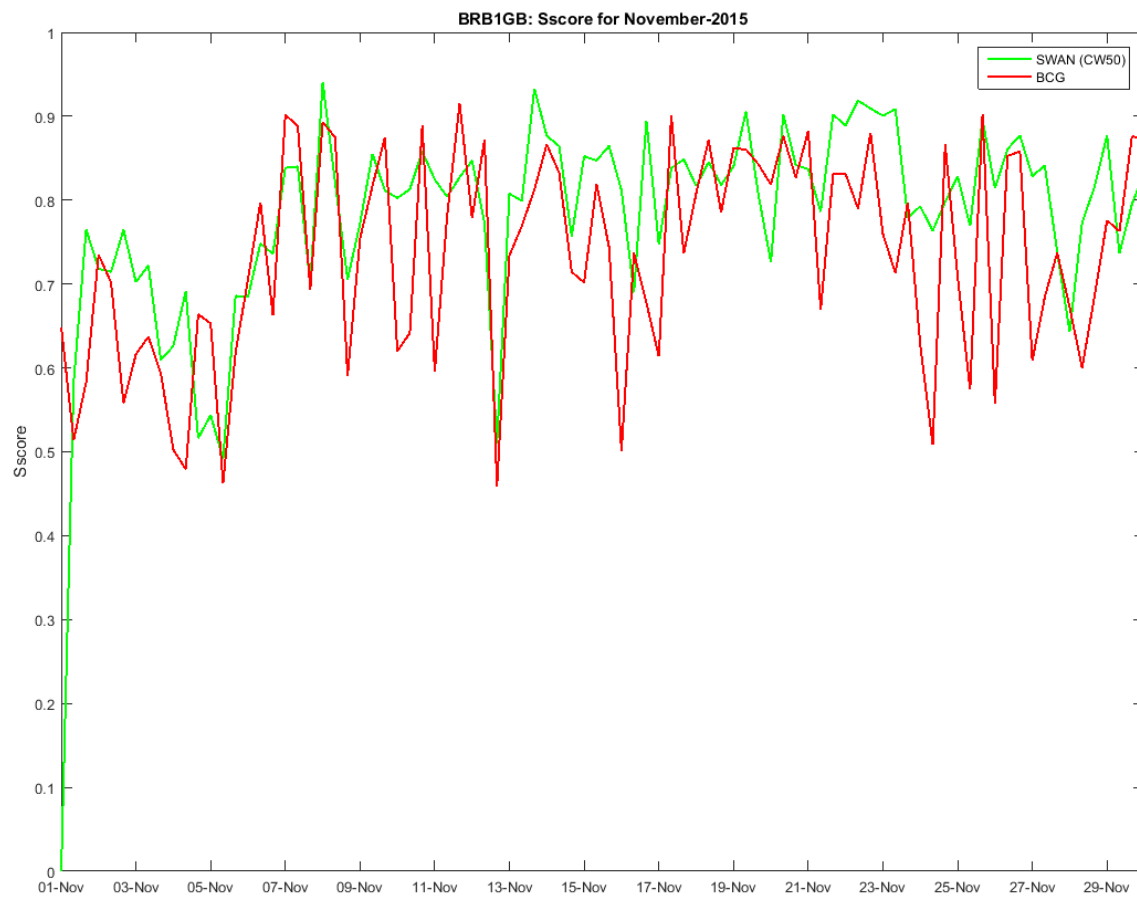
Figuur 0.57De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.



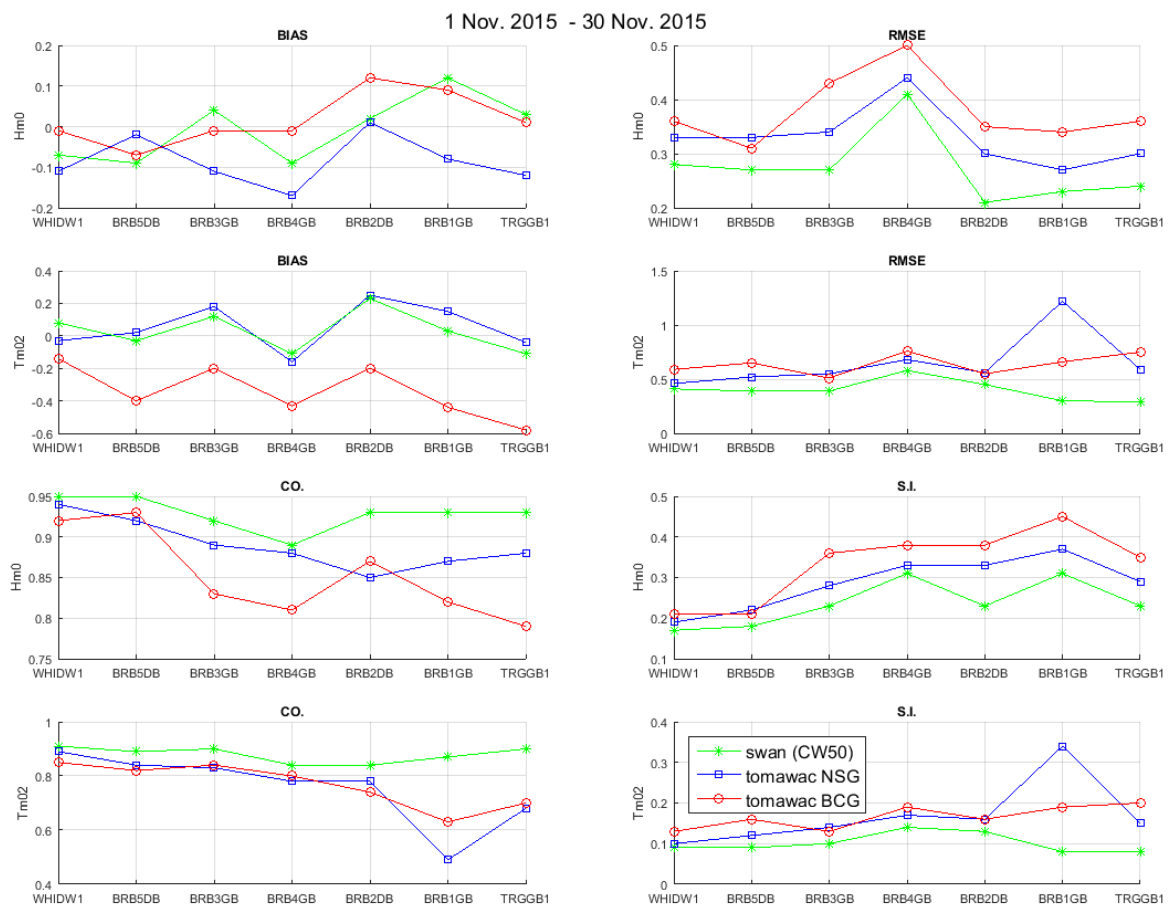
Figuur 0.58 De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.



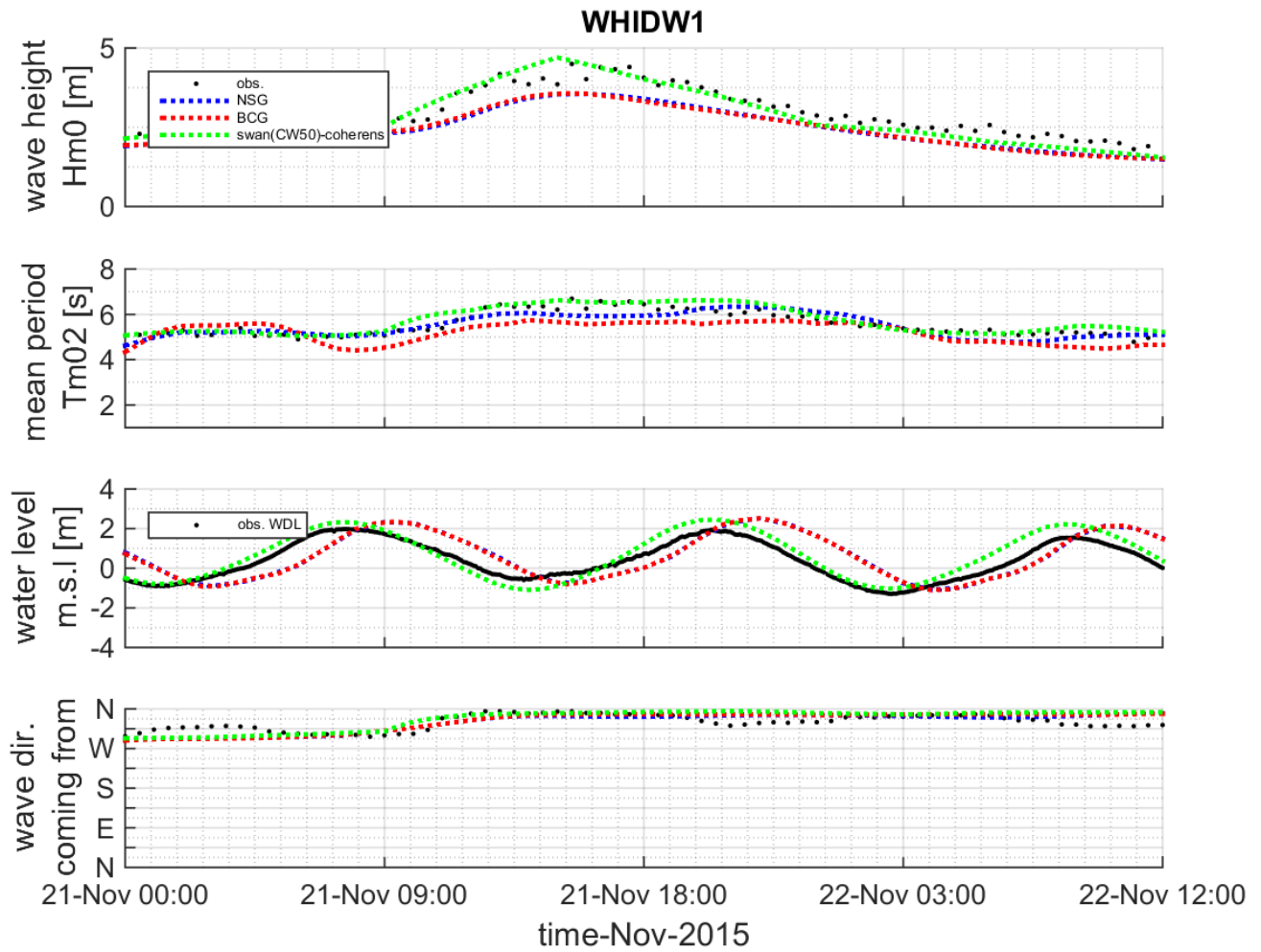
Figuur 0.59De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.



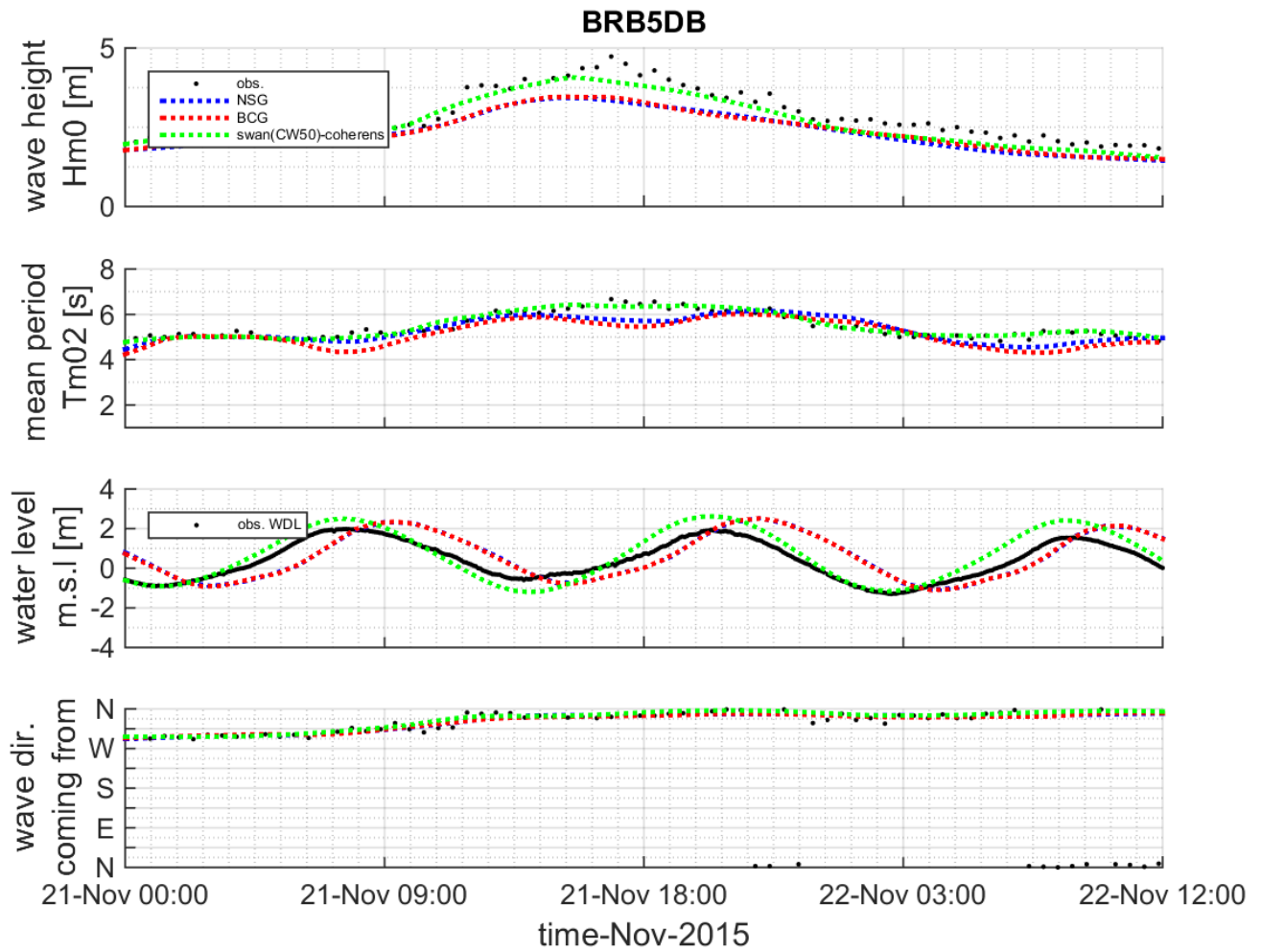
Figuur 0.60De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.



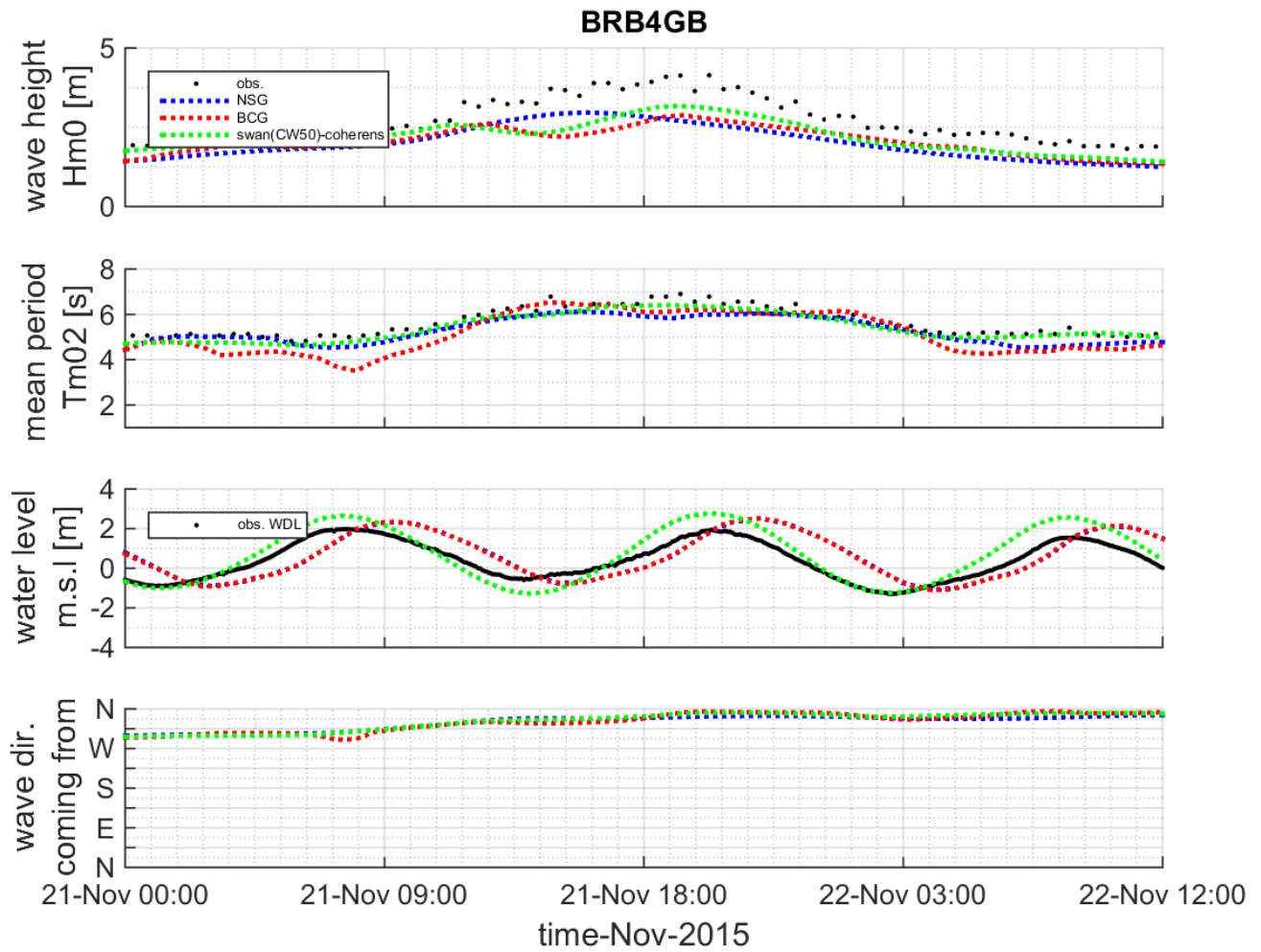
Figuur 0.61 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor november 2015 en dit voor alle boeien.



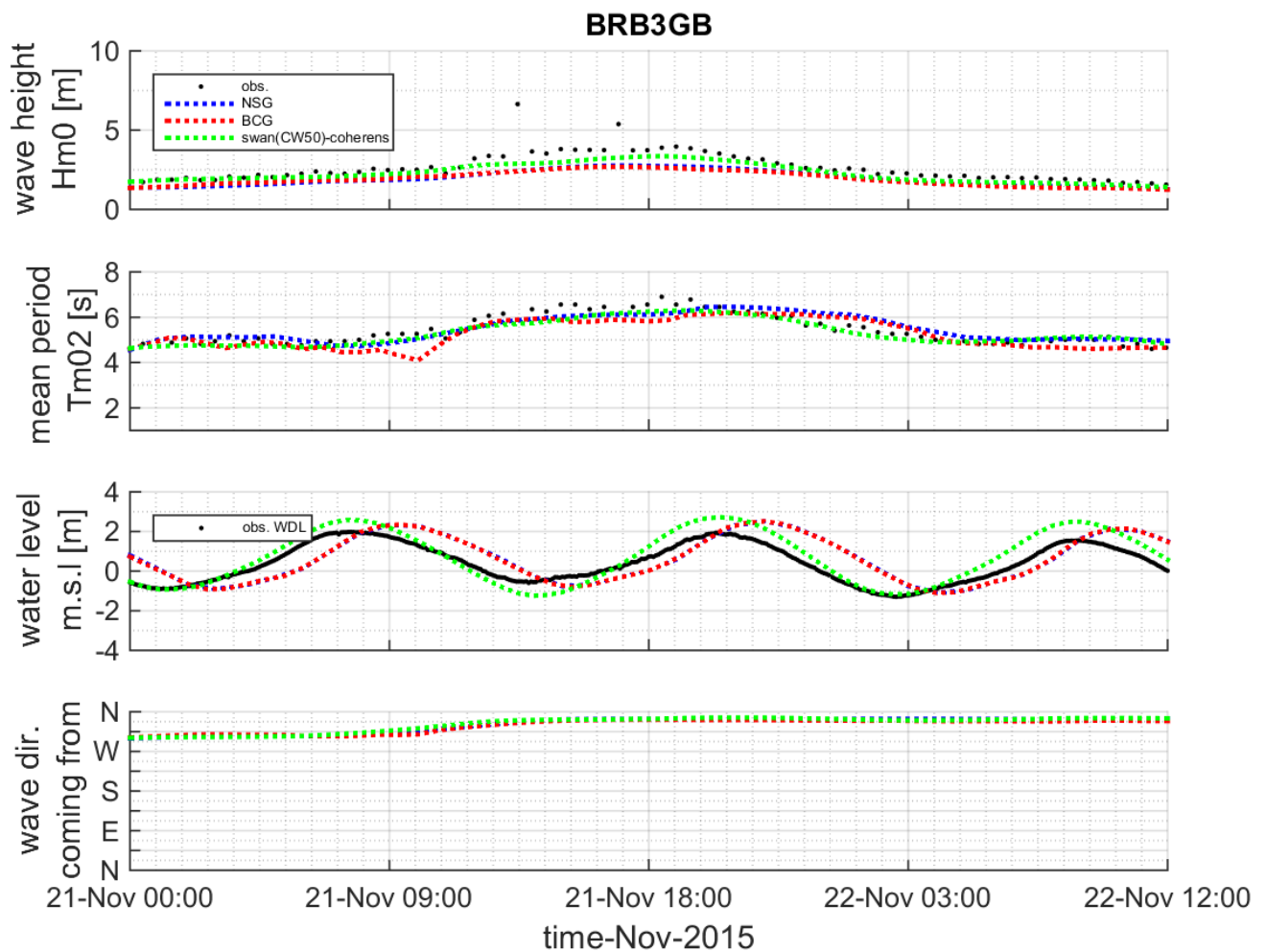
Figuur 0.62 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



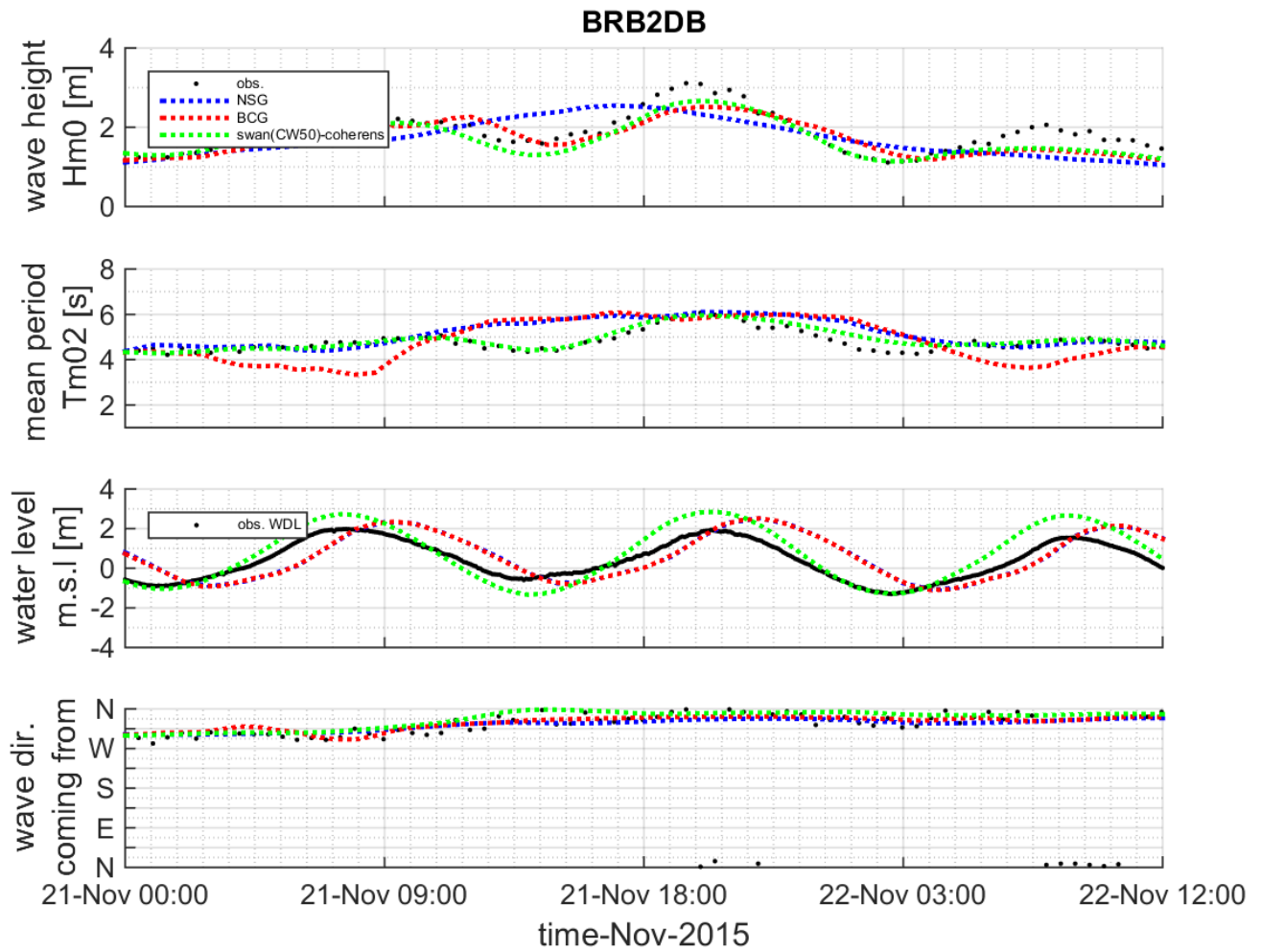
Figuur 0.63 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



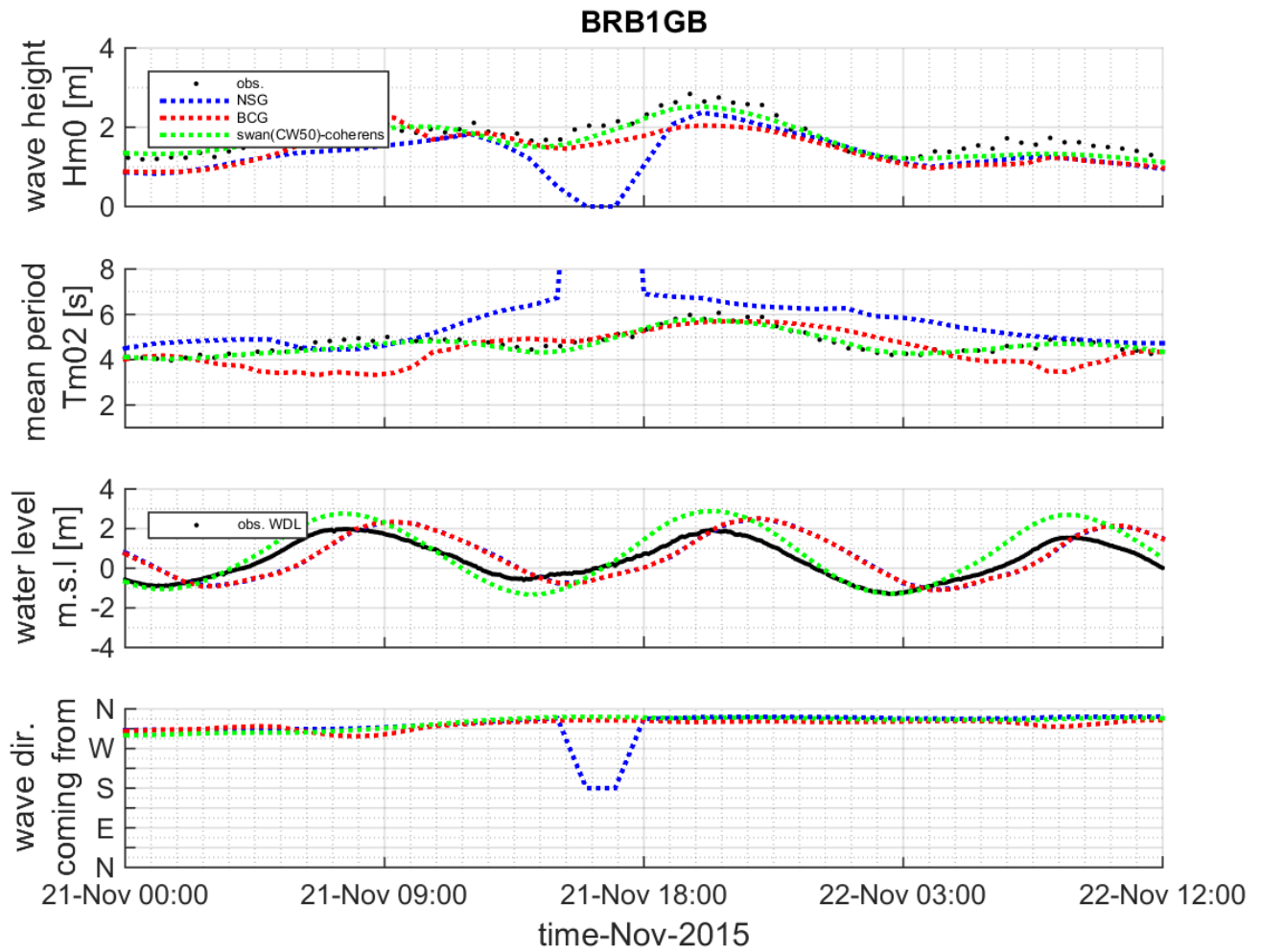
Figuur 0.64 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



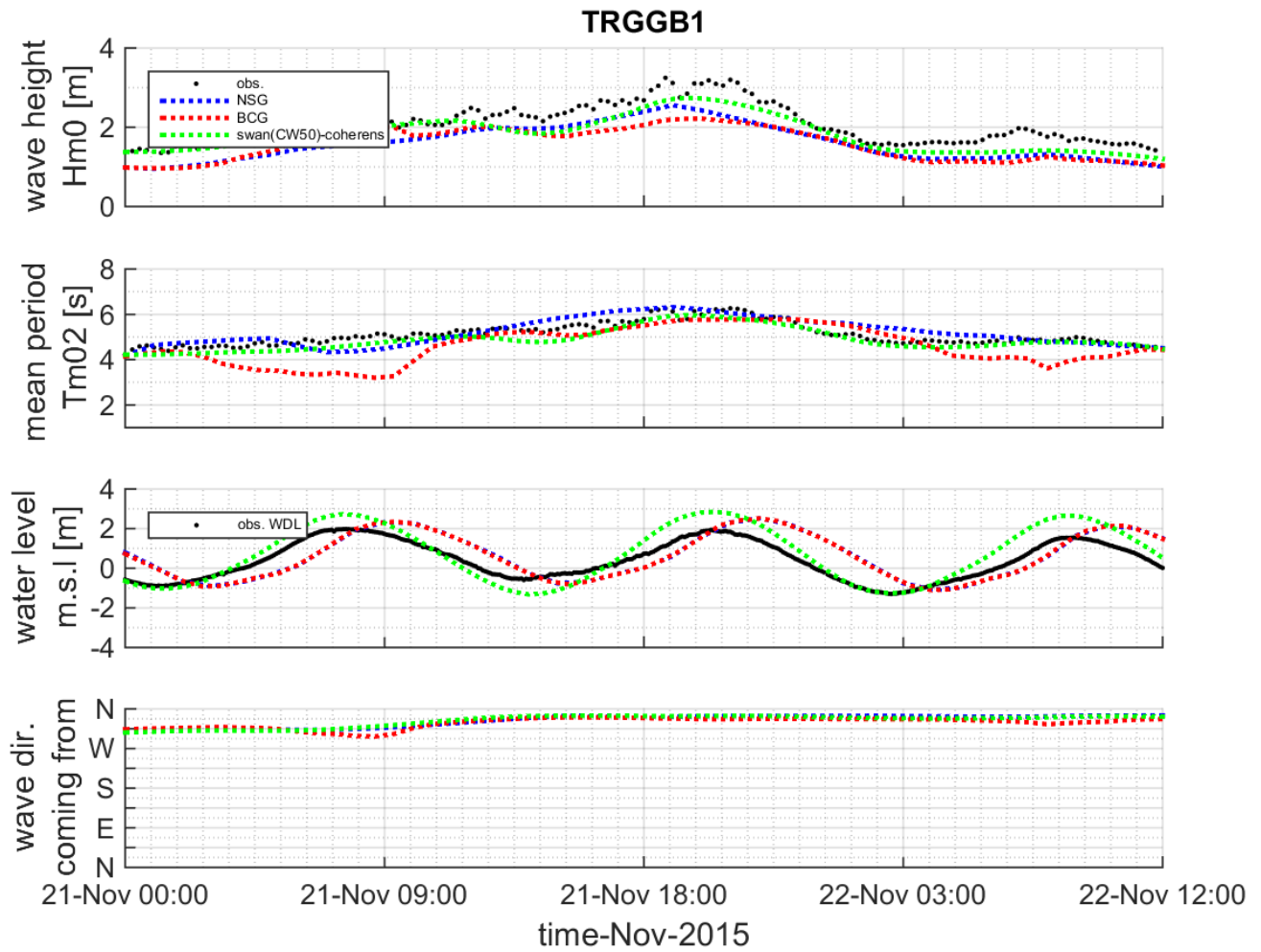
Figuur 0.65 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



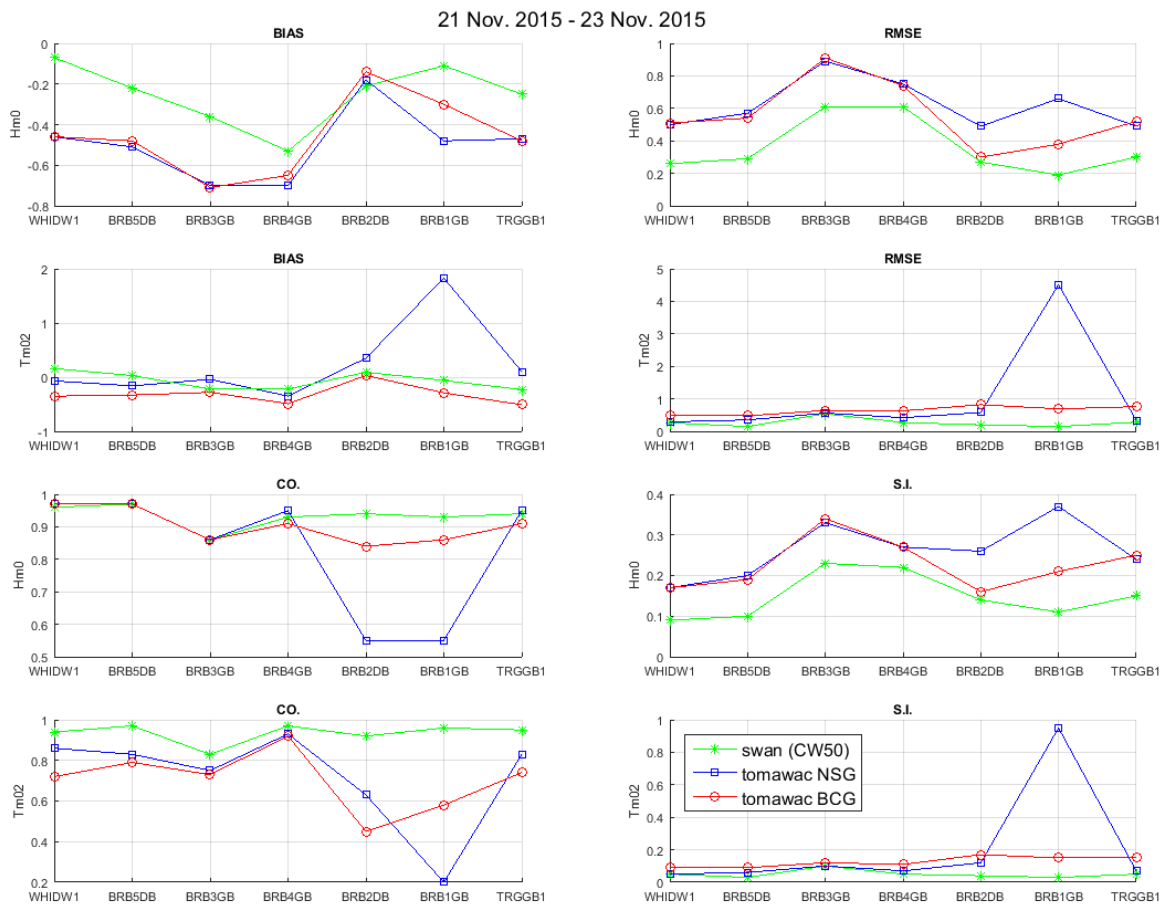
Figuur 0.66 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



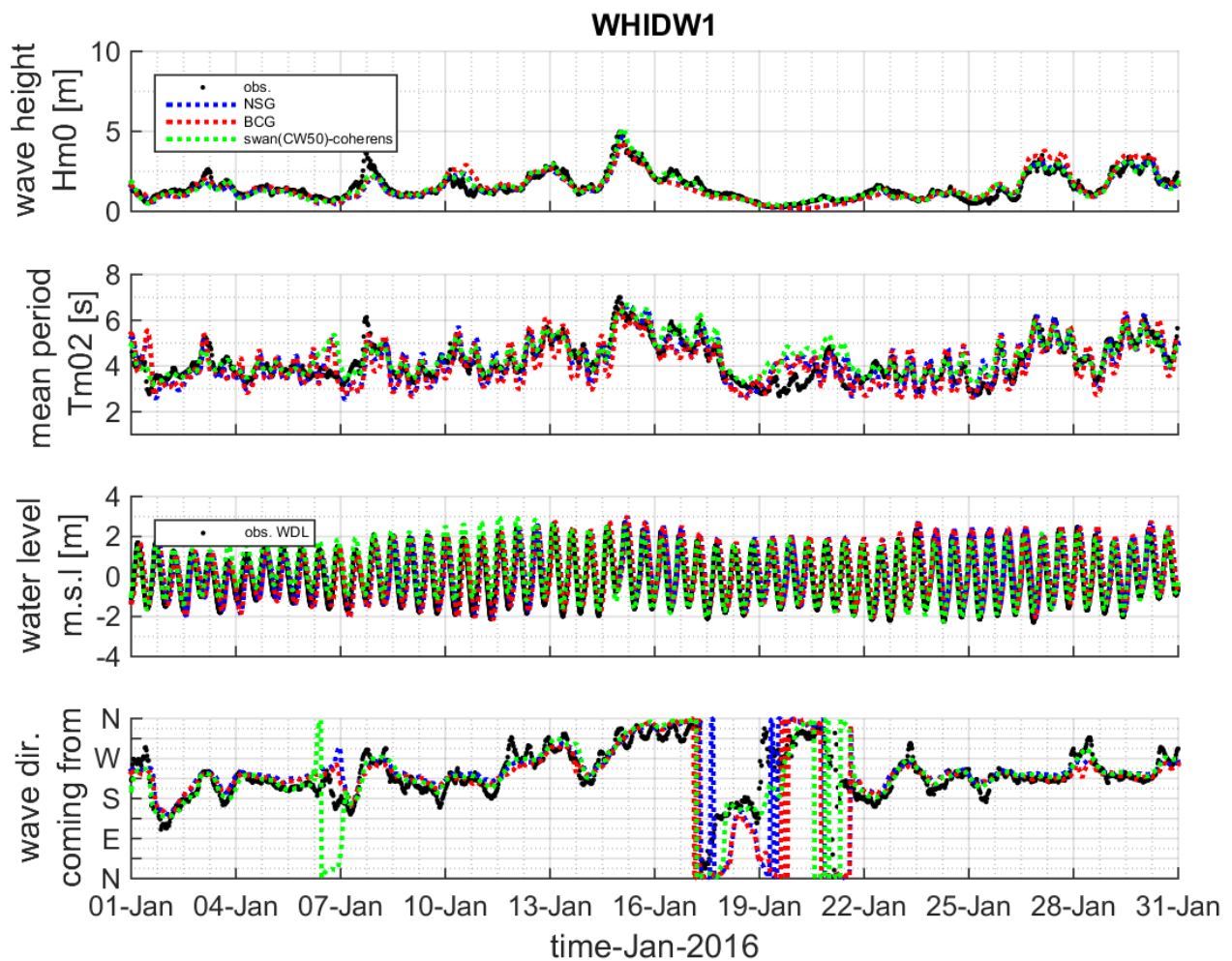
Figuur 0.67 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



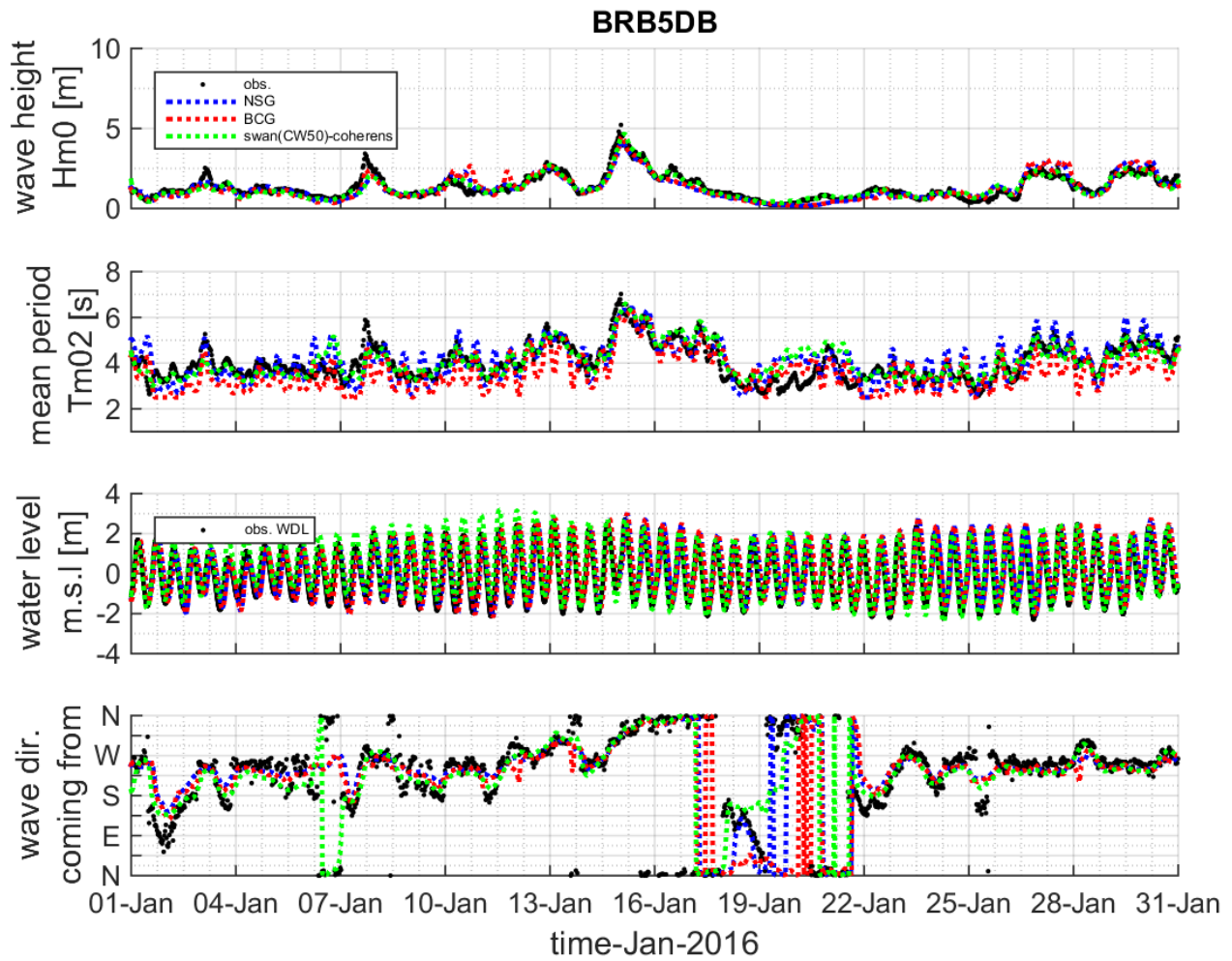
Figuur 0.68 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 21-22 november 2015 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



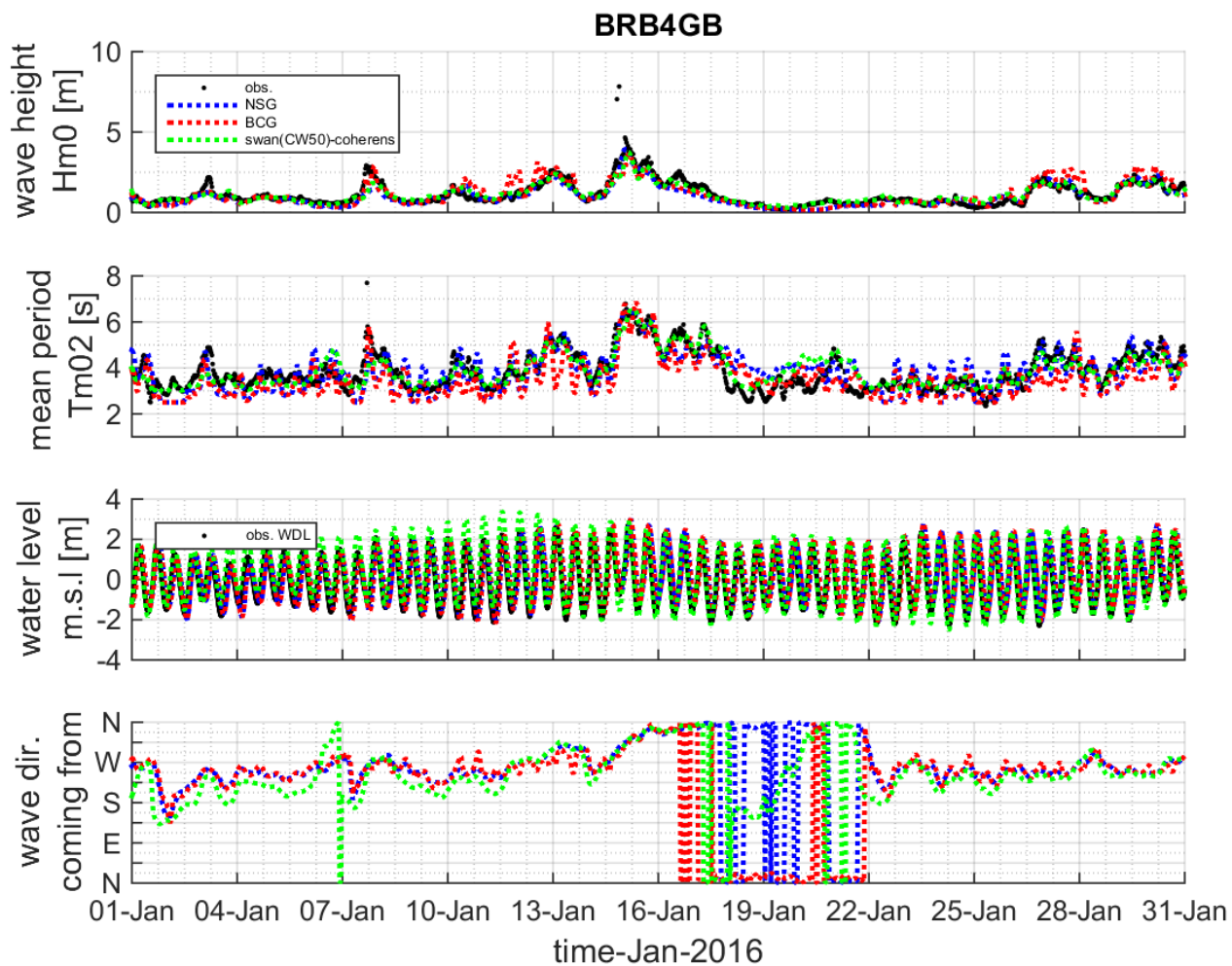
Figuur 0.69 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van 21-23 november 2015 en dit voor alle boeien.



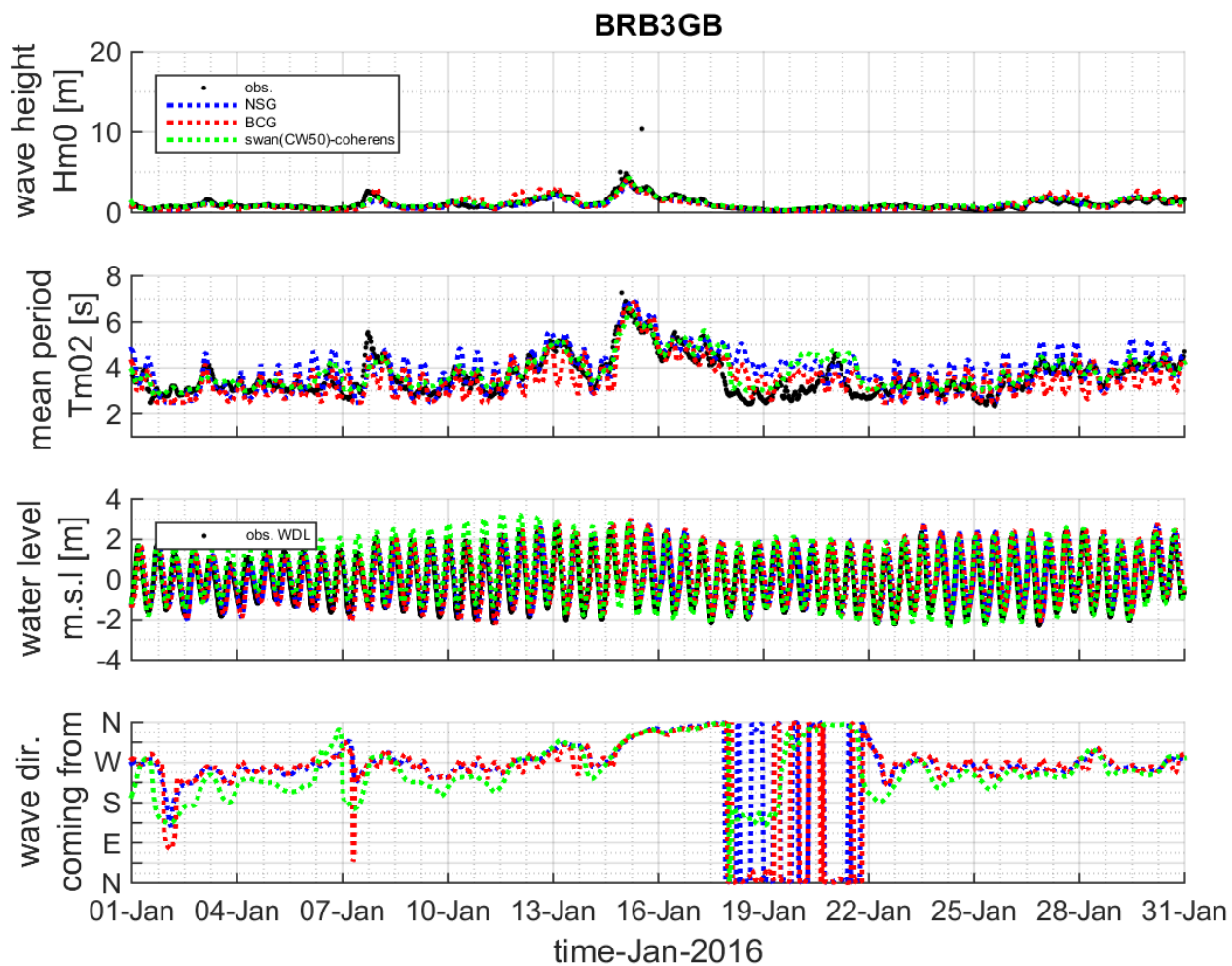
Figuur 0.70 Geïntegreerde golfparameters voor januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



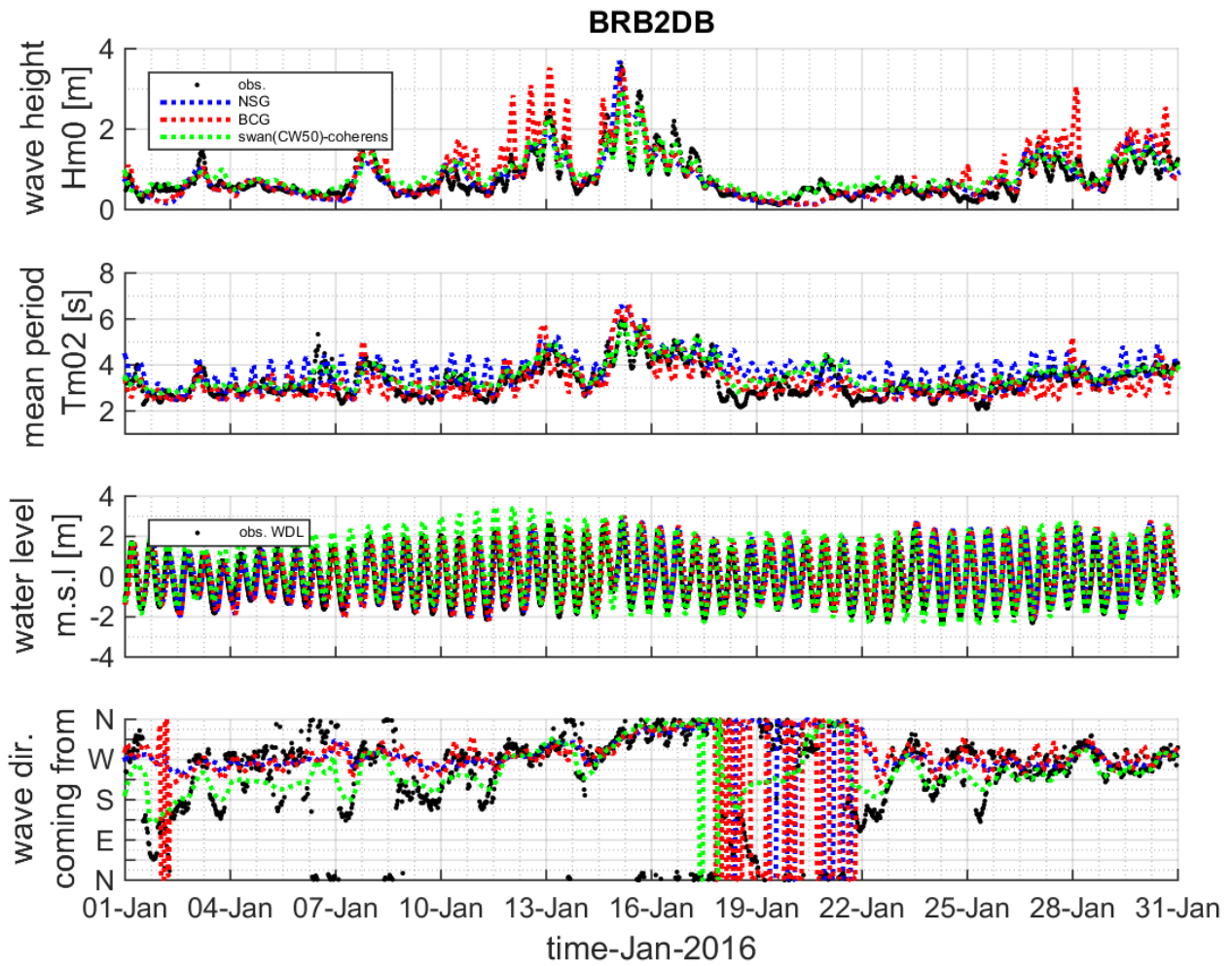
Figuur 0.71 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



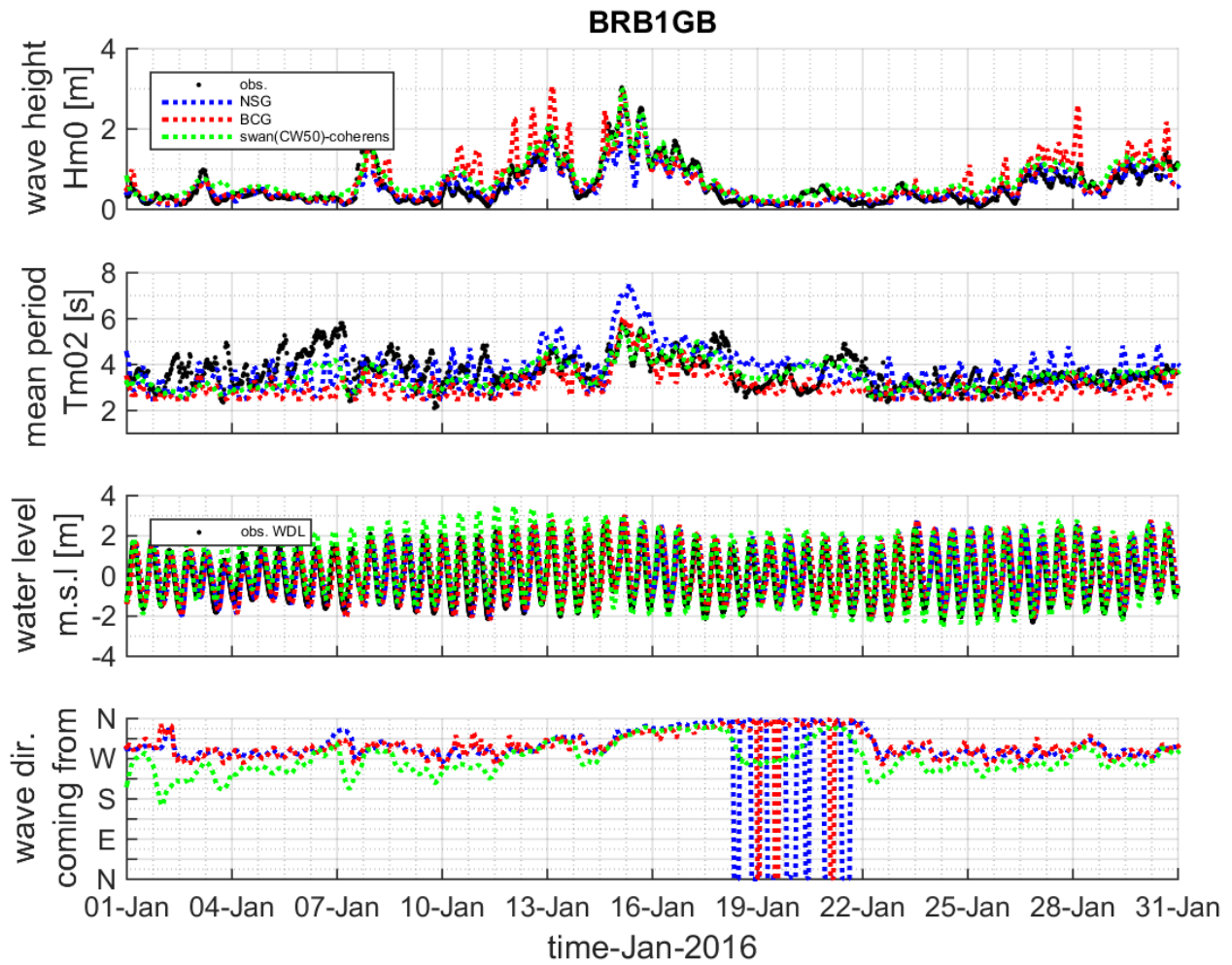
Figuur 0.72 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



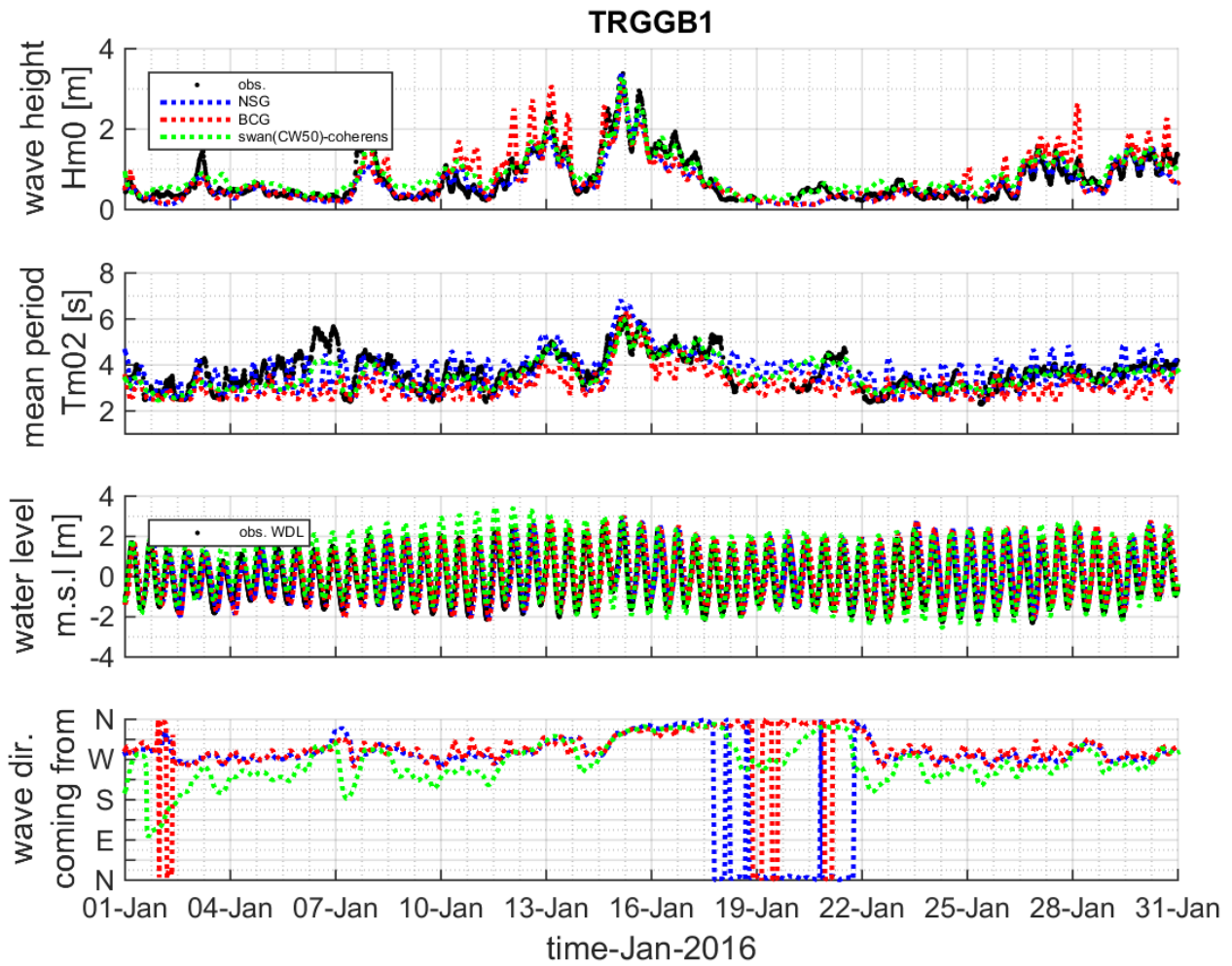
Figuur 0.73 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



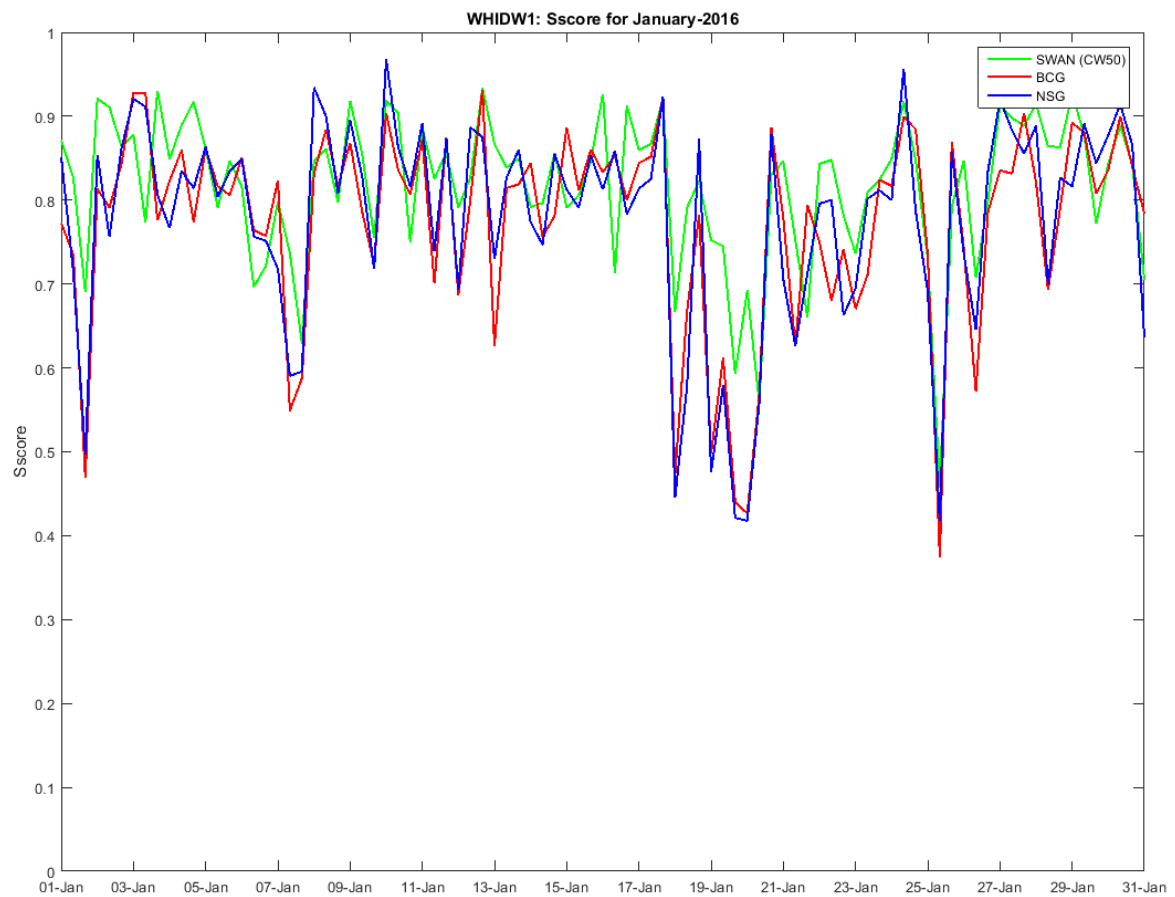
Figuur 0.74 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



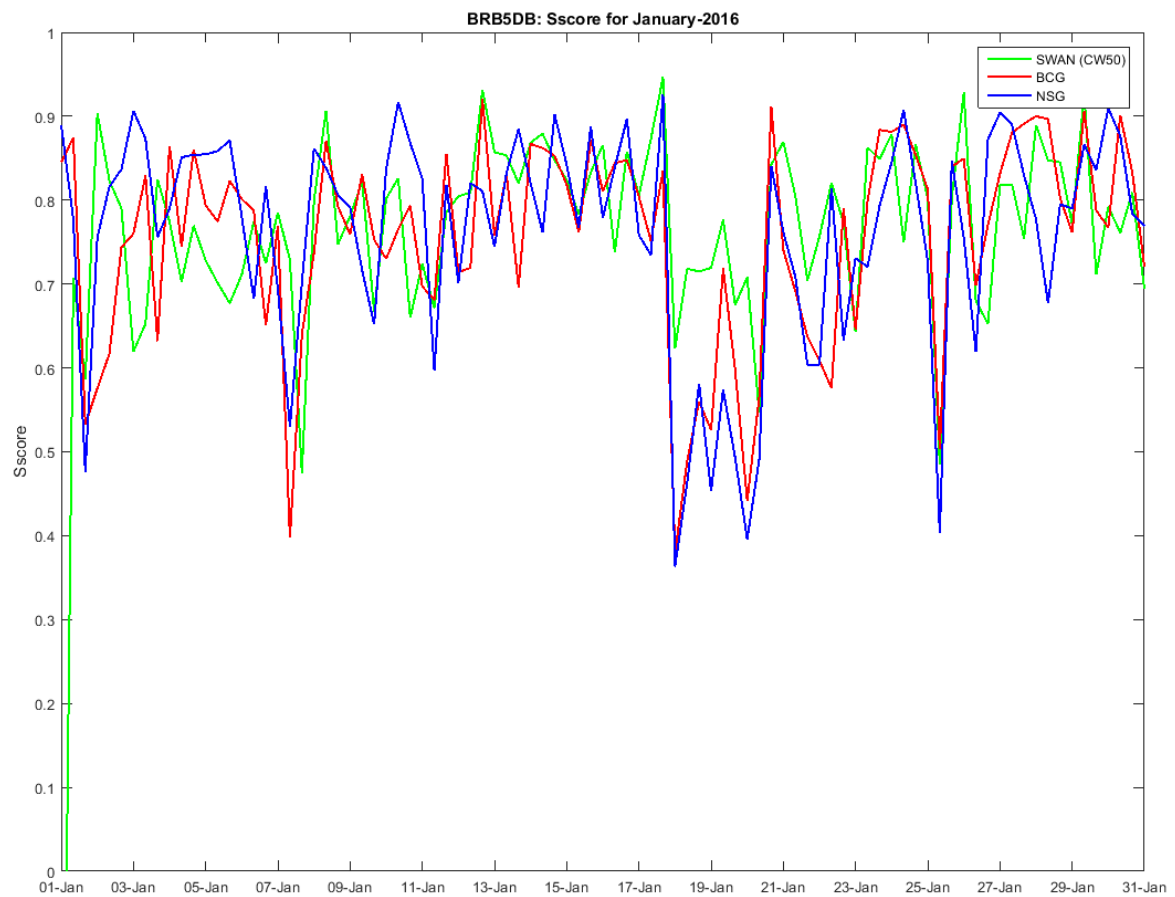
Figuur 0.75 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie BRB1GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



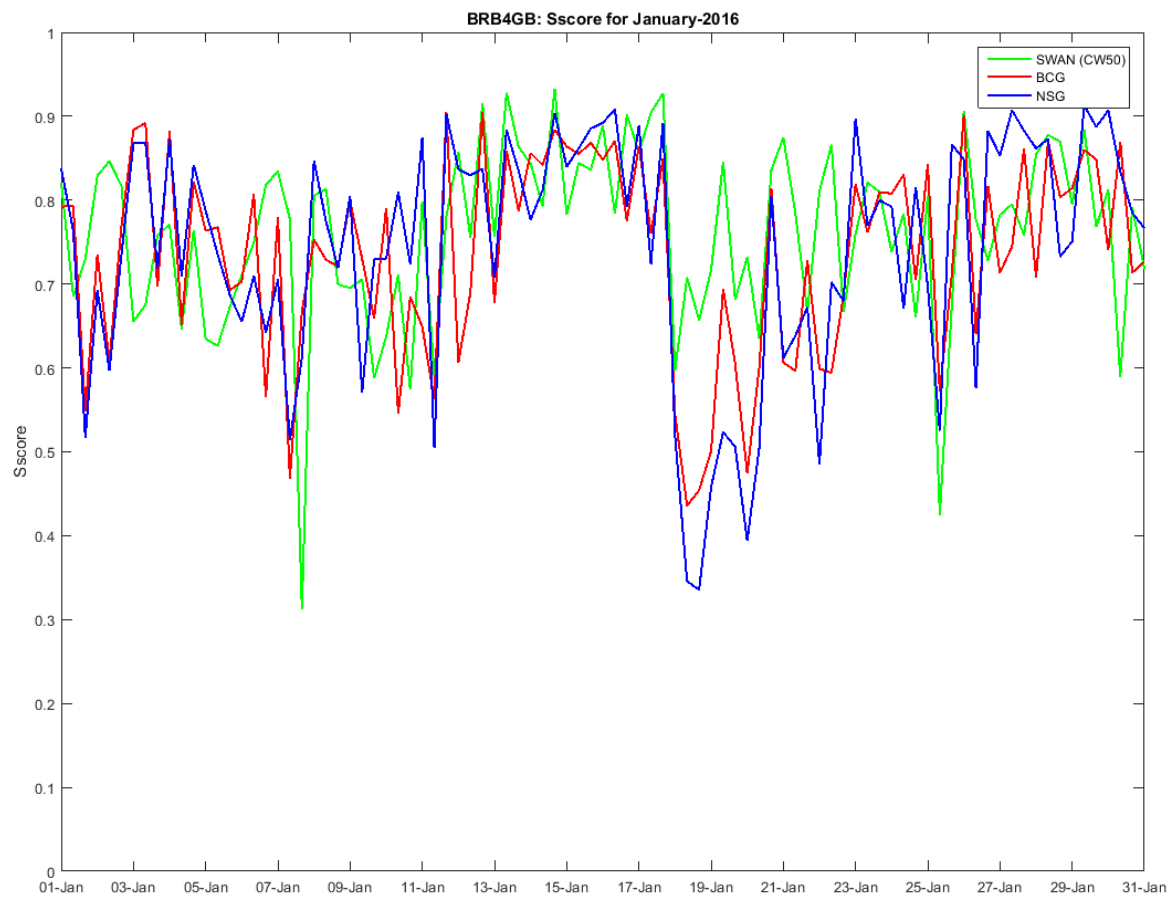
Figuur 0.76 Geïntegreerde golfparameters voor januari op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



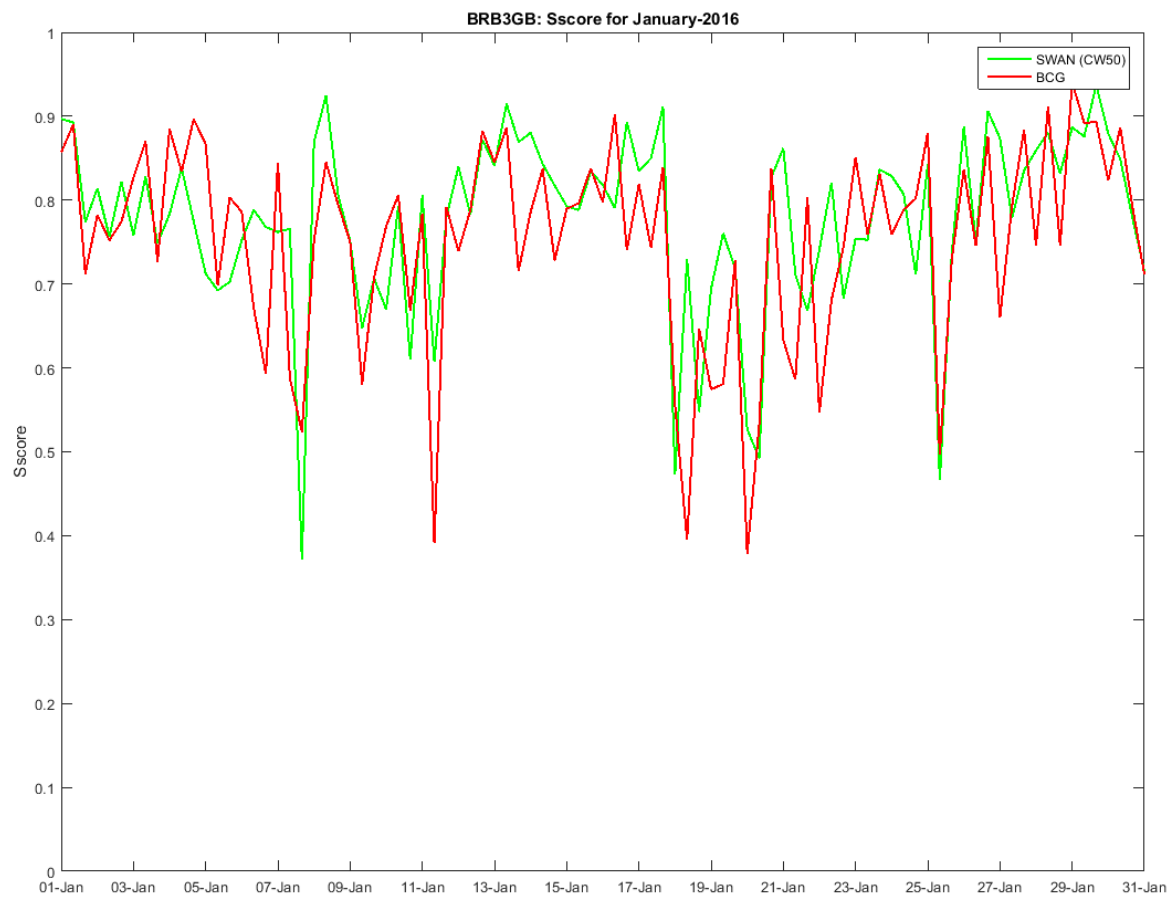
Figuur 0.77De S-score voor december 2013 op locatie WHIDW1.



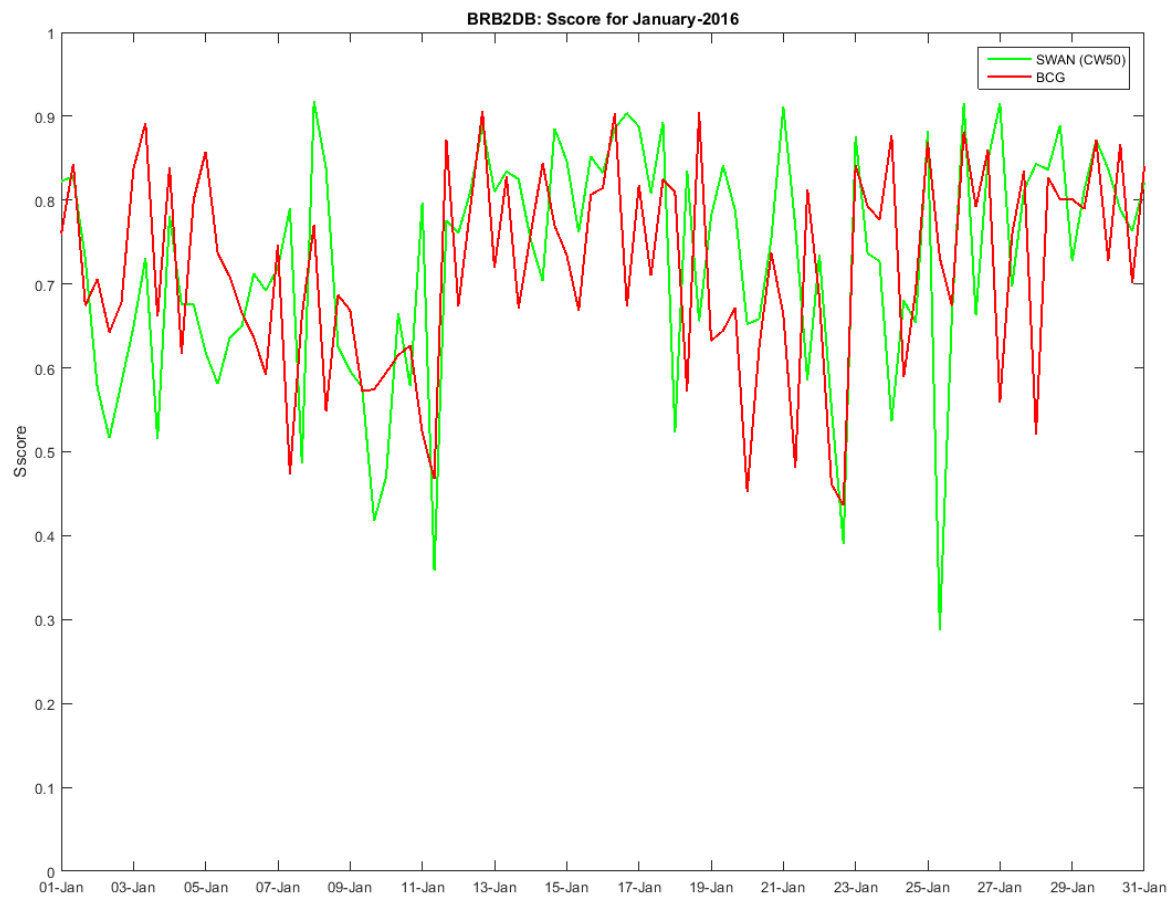
Figuur 0.78 De S-score voor december 2013 op locatie BRB5DB.



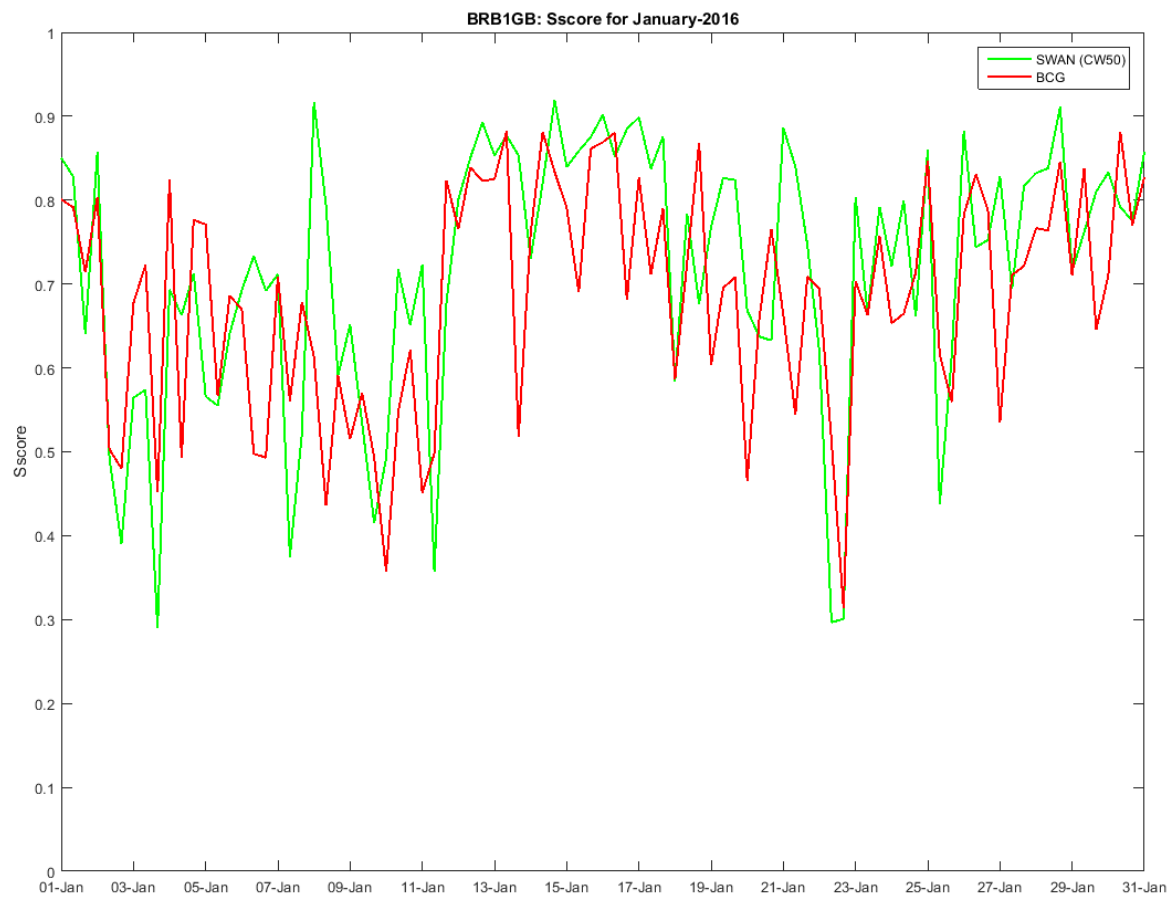
Figuur 0.79De S-score voor december 2013 op locatie BRB4GB.



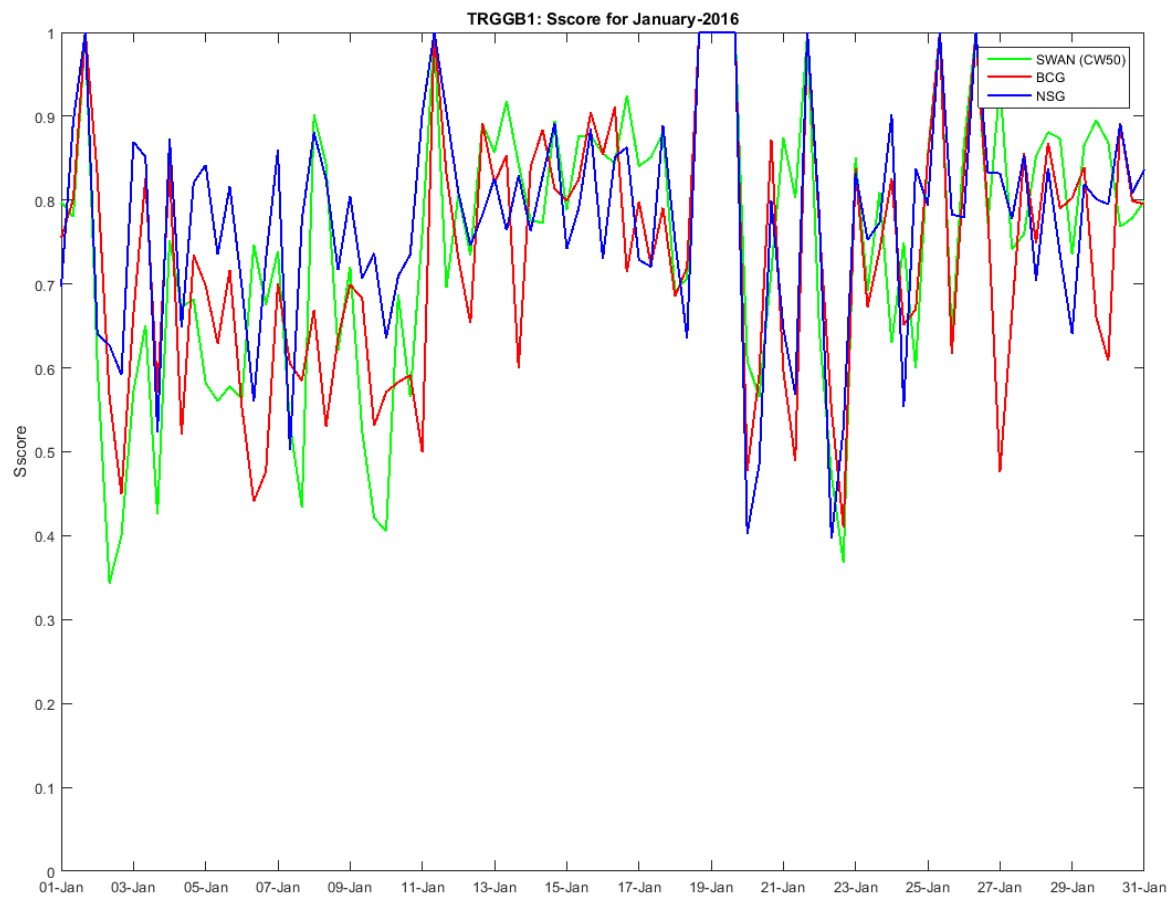
Figuur 0.80De S-score voor december 2013 op locatie BRB3GB.



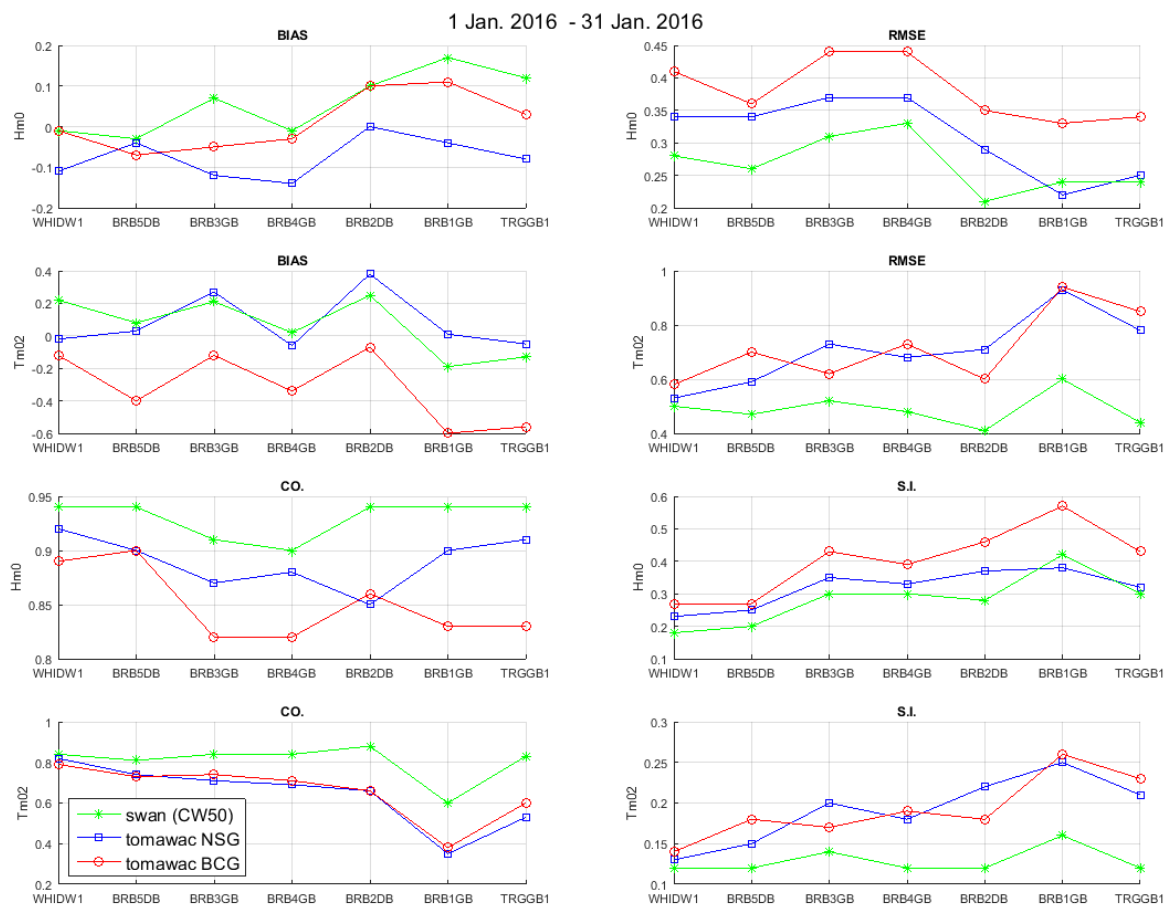
Figuur 0.81De S-score voor december 2013 op locatie BRB2DB.



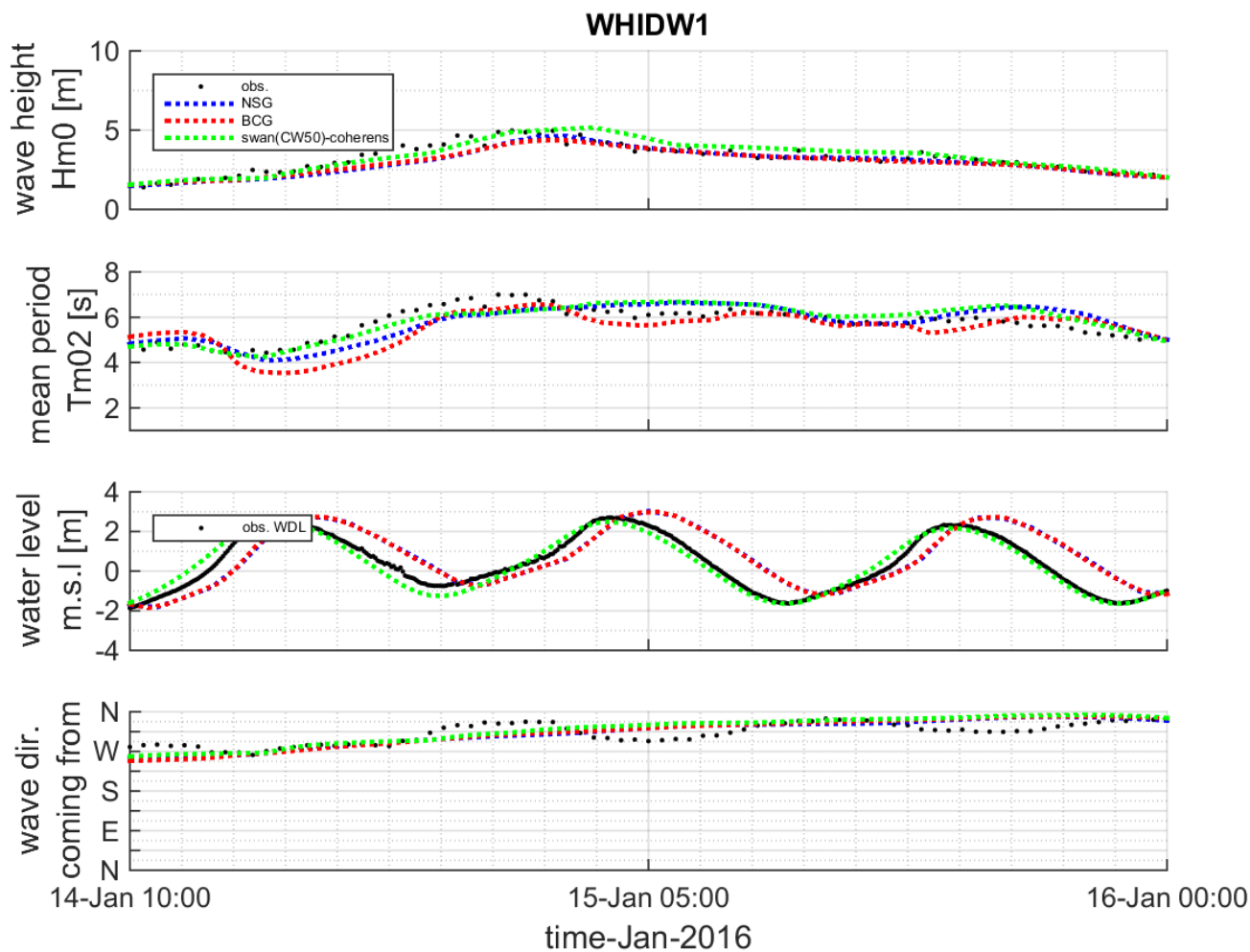
Figuur 0.82De S-score voor december 2013 op locatie BRB1GB.



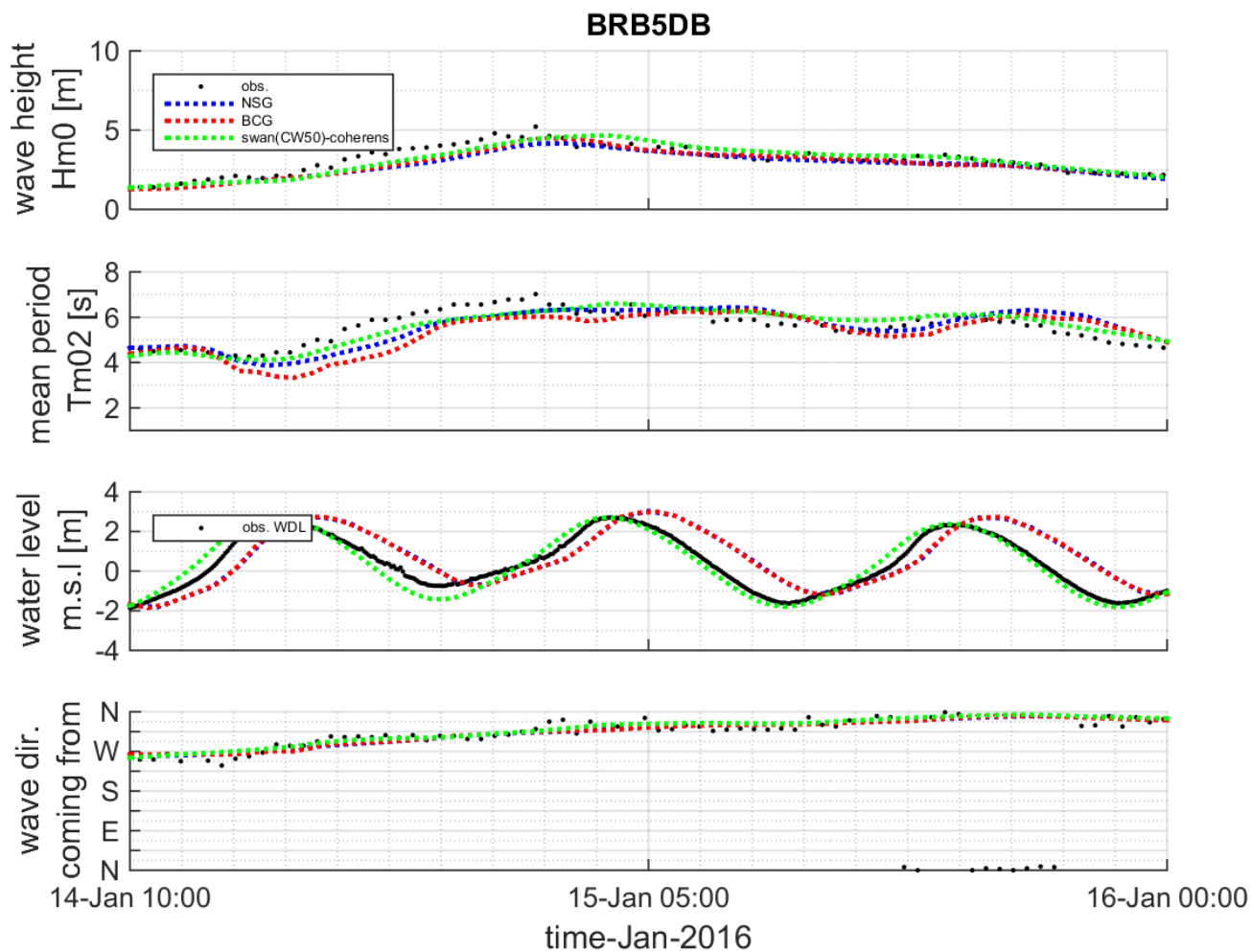
Figuur 0.83De S-score voor december 2013 op locatie TRGGB1.



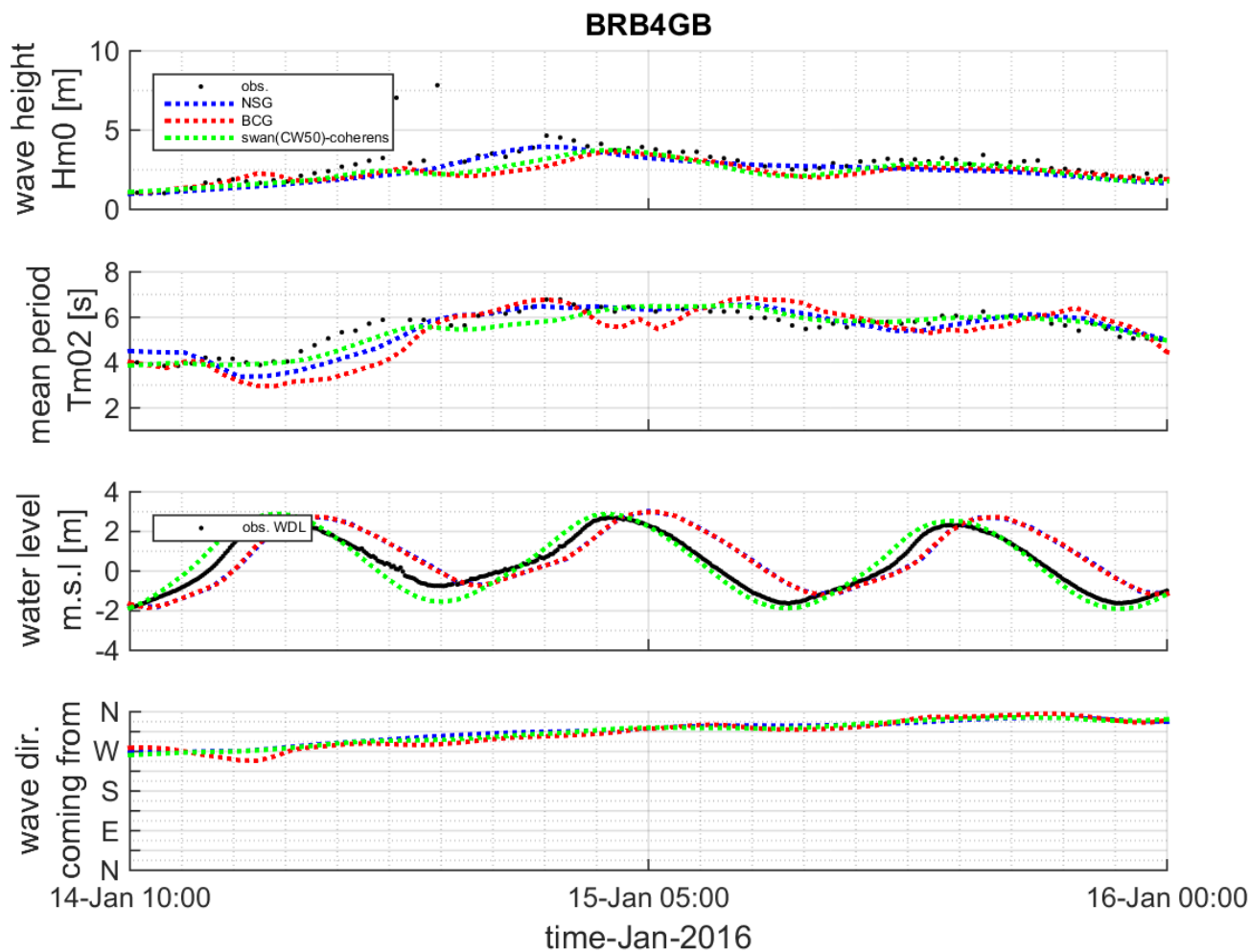
Figuur 0.84 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor januari 2016 en dit voor alle boeien.



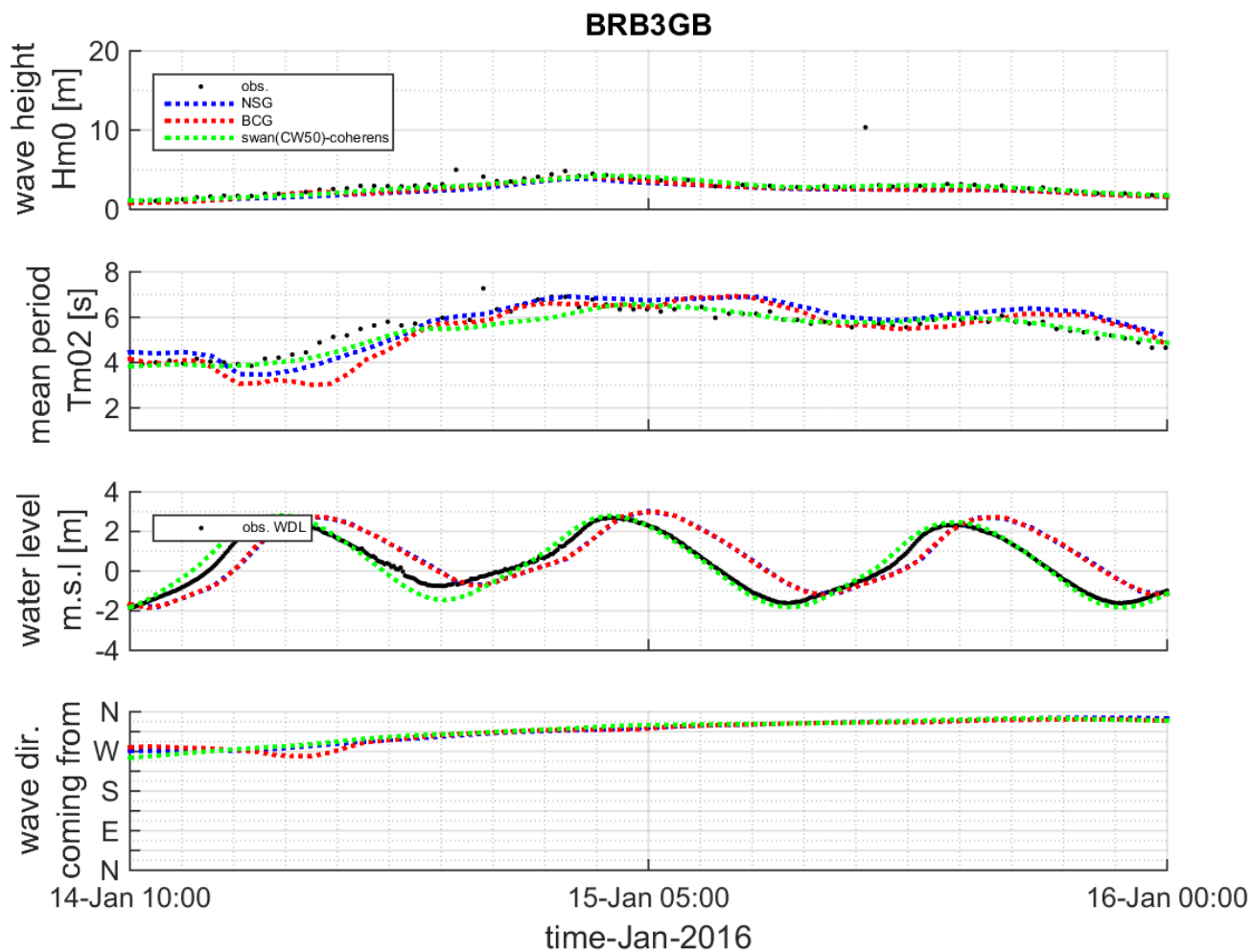
Figuur 0.85 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie WHIDW1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



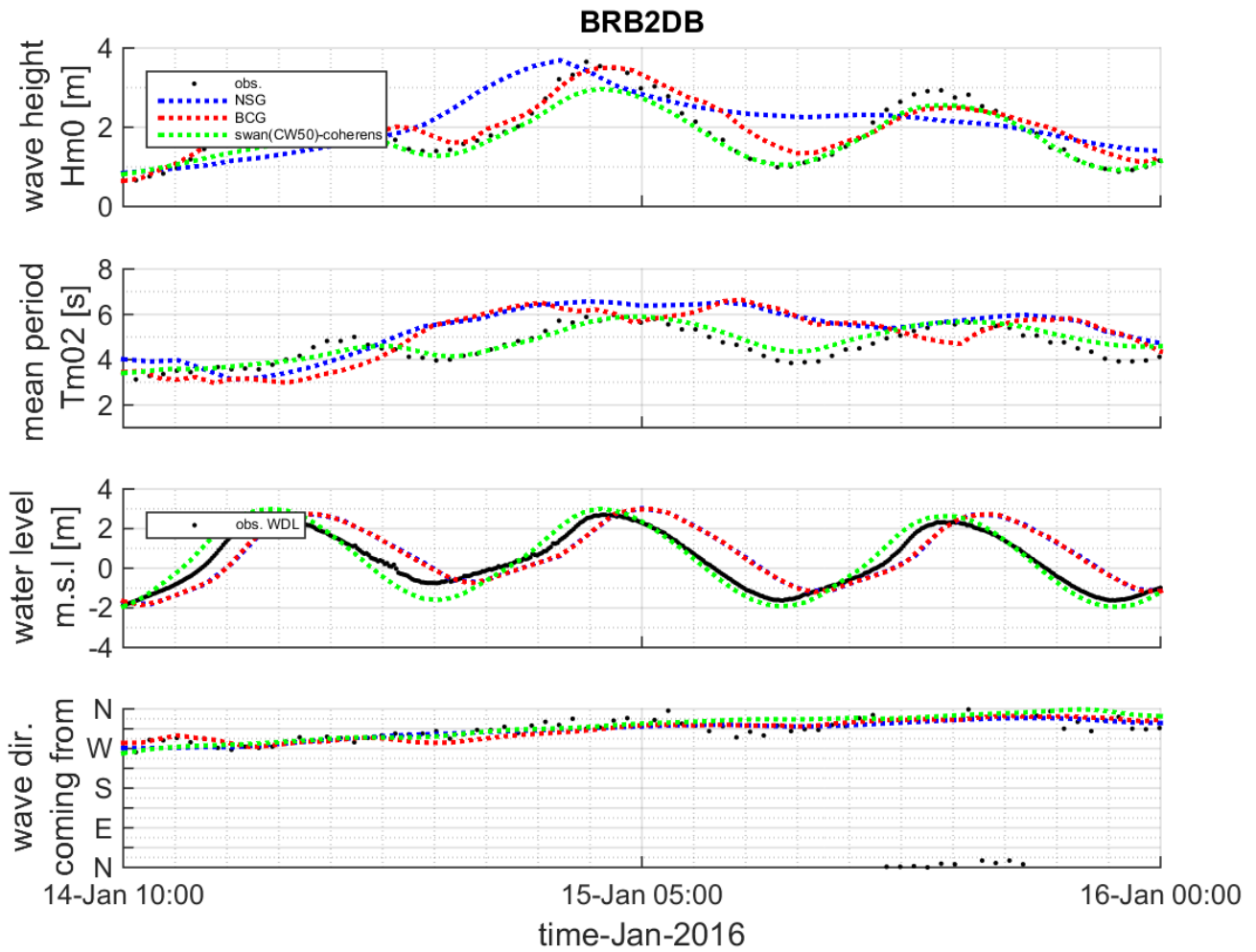
Figuur 0.86 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



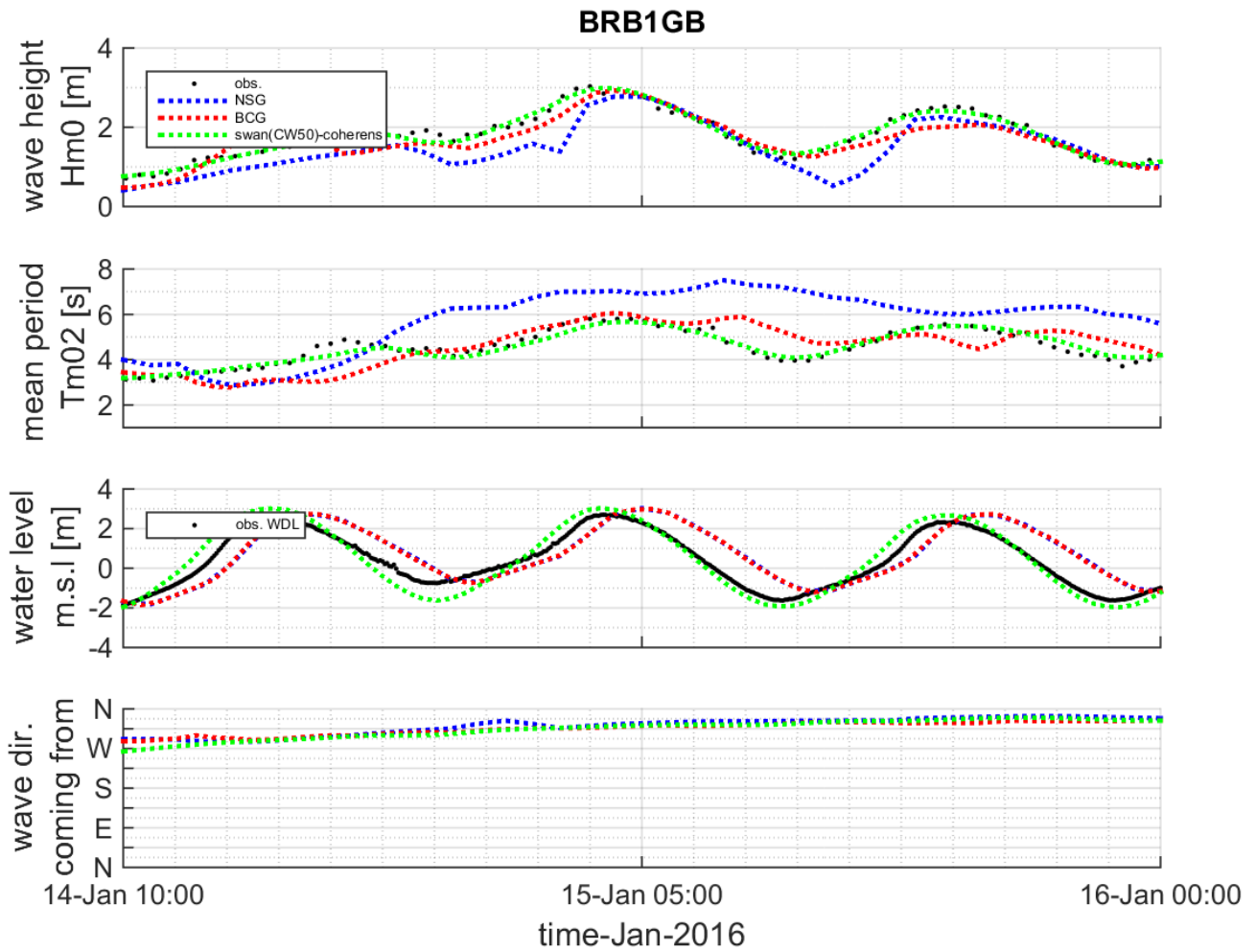
Figuur 0.87 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB4GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



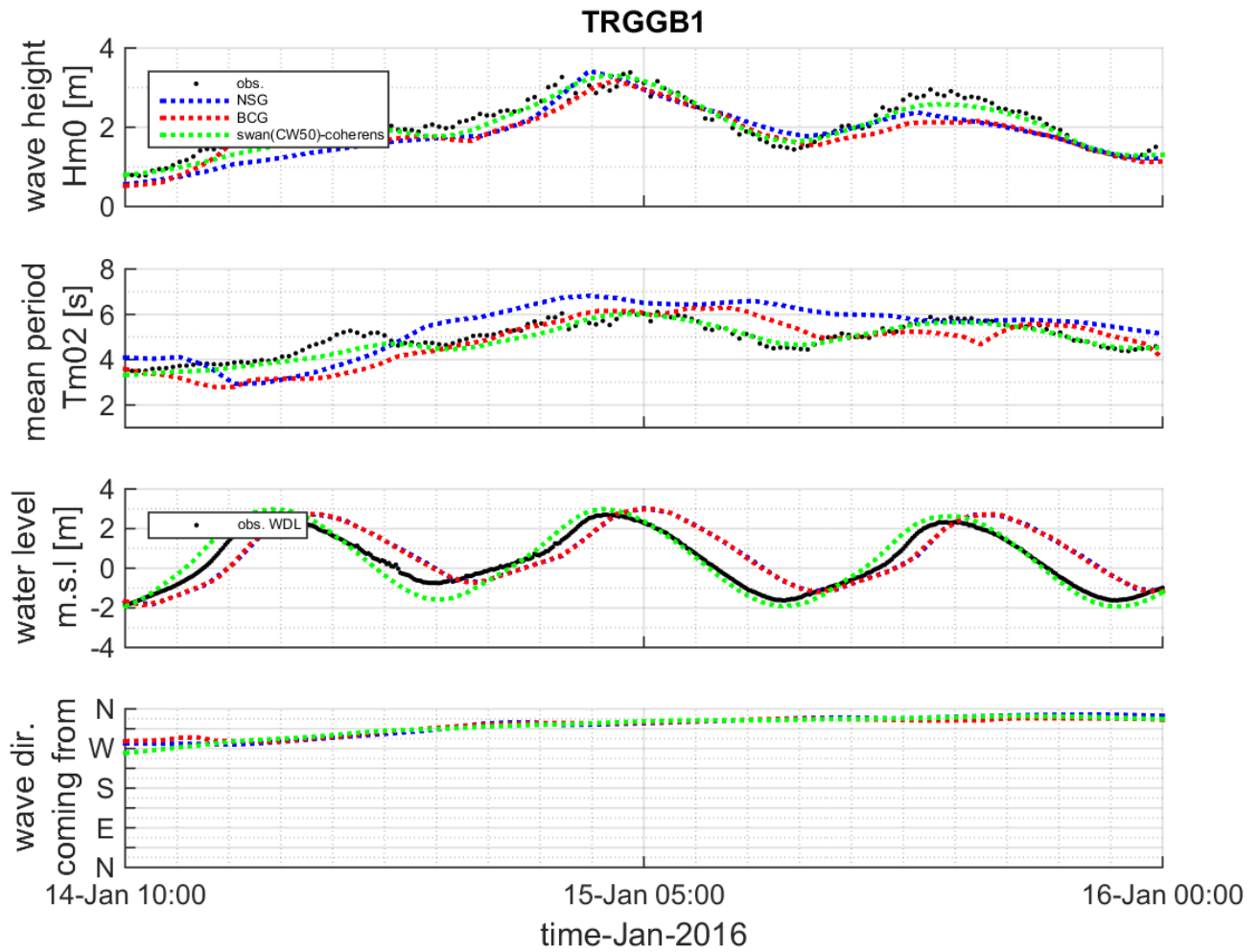
Figuur 0.88 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB3GB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



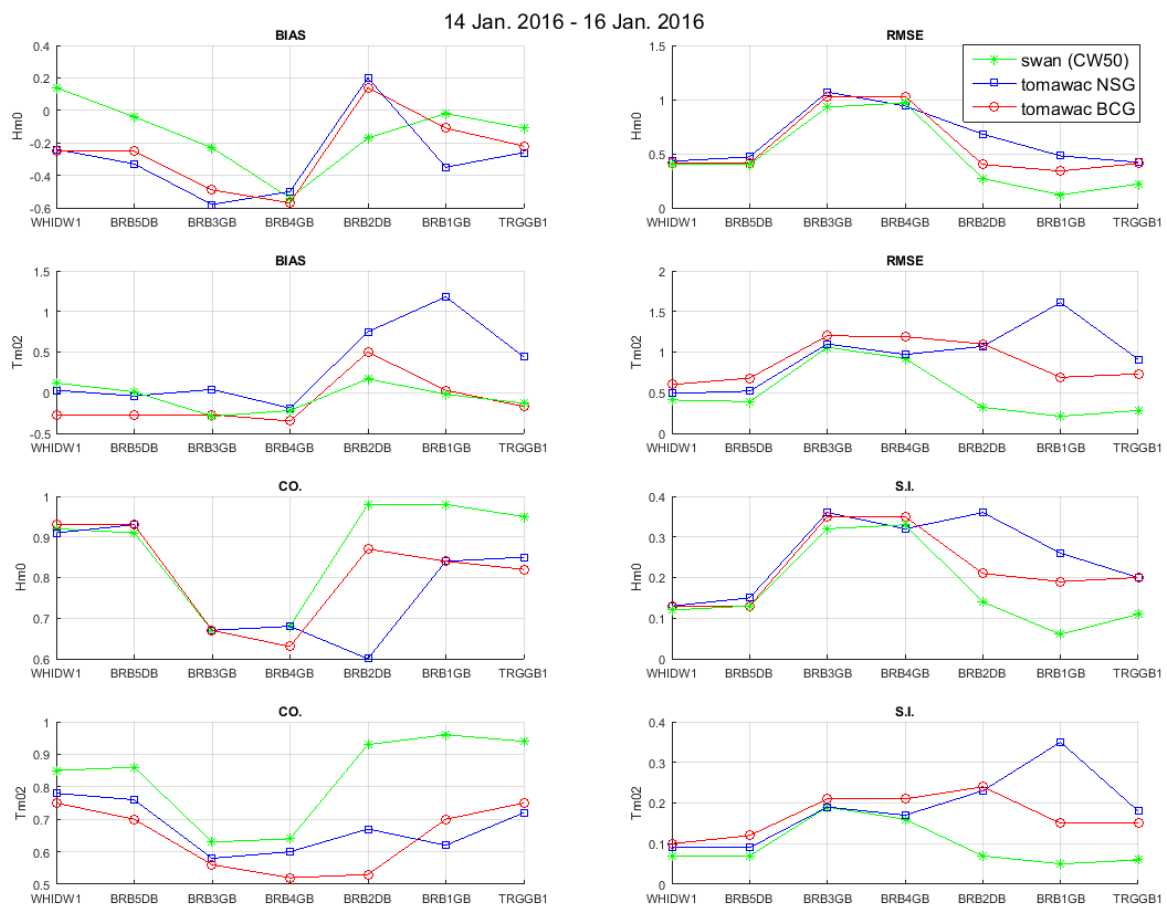
Figuur 0.89 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB2DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



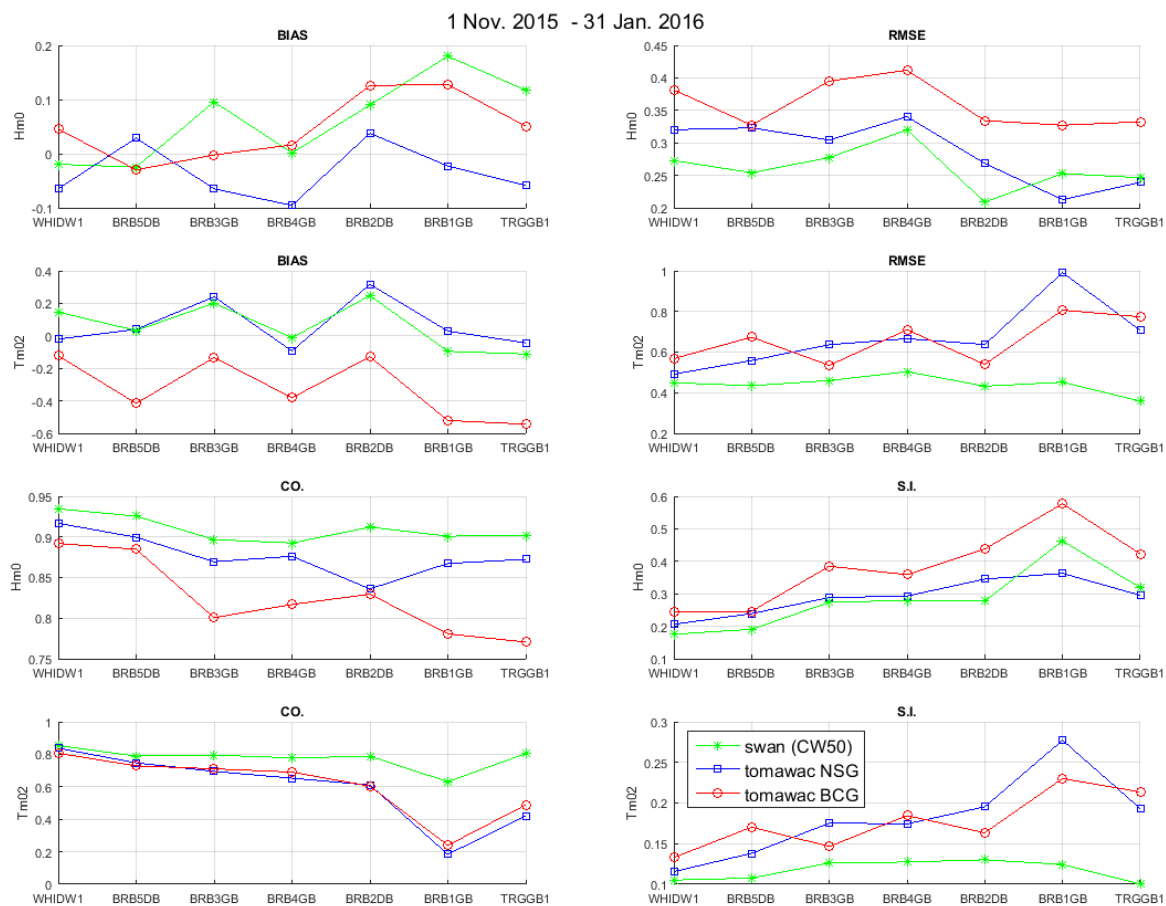
Figuur 0.90 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie BRB5DB alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



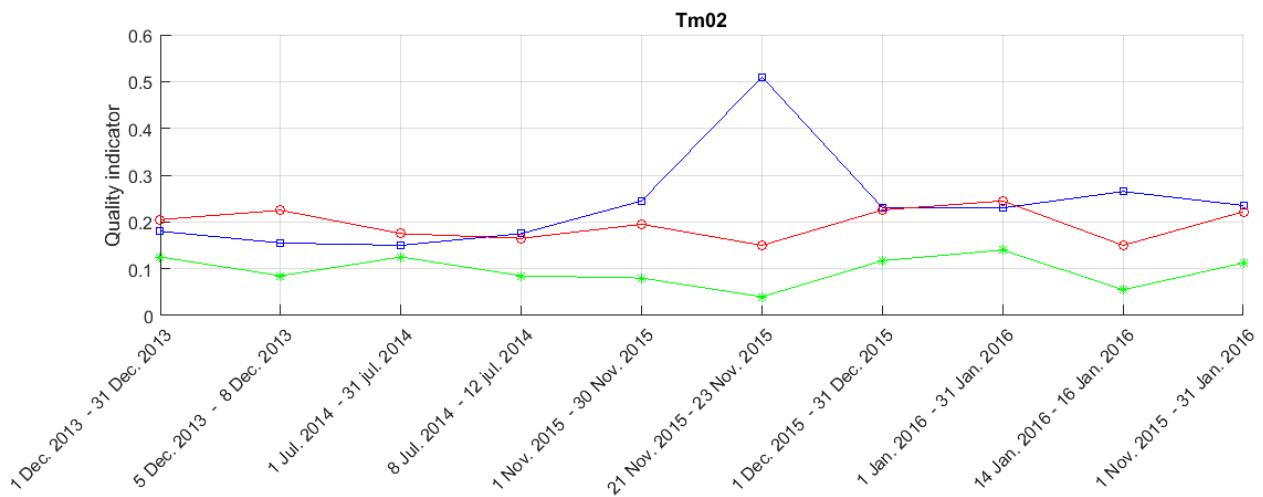
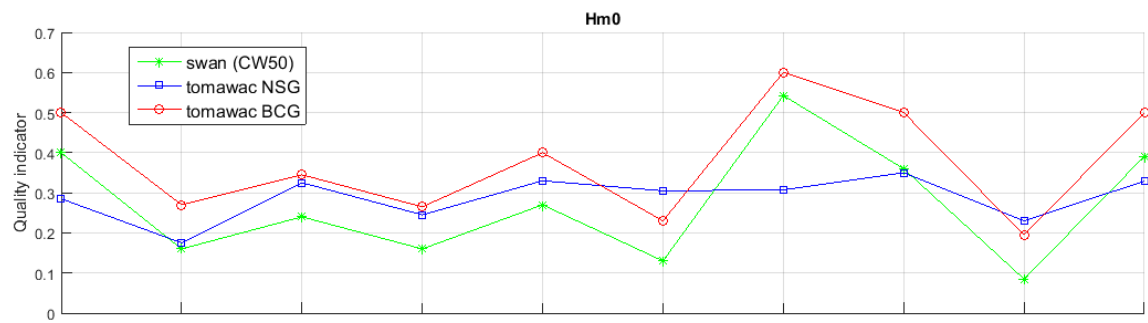
Figuur 0.91 Geïntegreerde golfparameters voor de storm van 14-16 januari 2016 op locatie TRGGB1 alsook de waterstand op locatie Wandelaar.



Figuur 0.92 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de storm van 14-16 januari 2016 en dit voor alle boeien.



Figuur 0.93 Plot statistische parameters Hm0 en Tm02 voor de periode november 2015-januari 2016 en dit voor alle boeien.



Figuur 0.94 De kwaliteitsindicator voor Hm0 en Tm02 berekend voor elk elk van de 3 maanden, elk van de 4 stormperiodes alsook die voor de 3 maanden simulatie.

Reference to this report:

Komijani, H., H. Ortega Yamamoto, Q. Zhang, J. Monbaliu, 2017. *Vergelijkende modellering*. Monitoring Broersbank – Opstellen van een hydrodynamische modellensuite TELEMAC-TOMAWAC voor de Broersbank. Broersbank_214341_R06 in opdracht van Afdeling Kust - Agenschap Maritieme Dienstverlening en Kust - Vlaamse Overheid, Laboratorium voor Hydraulica KU Leuven, 10-04-2017.